DIE NATURWISSENSCHAFTEN

BEGRÜNDET VON A. BERLINER UND C. THESING

UNTER MITWIRKUNG VON

J. BARTELS · E. BEDERKE · H. BROCKMANN · P. TEN BRUGGENCATE · C. W. CORRENS · H. v. FICKER · R. GRAMMEL
O. HAHN · R. HARDER · M. HARTMANN · W. HEISENBERG · A. KÜHN · M. v. LAUE · H. MARTIUS · R. W. POHL · H. REIN

HERAUSGEGEBEN VON

ARNOLD EUCKEN

ORGAN DER MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER WISSENSCHAFTEN

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

37. JAHRGANG **HEFT 1 (1—24)** **1950**

INHALT:

AUFSÄTZE.

Zur Frage der absoluten Geschwindigkeit geologischer Vorgänge. Von GERHARD RICHTER-BERNBURG 1

Der Ovarialzyklus vom Standpunkt der vergleichenden Anatomie. Von H. STIEVE 8

BERICHTE.

Die erste Ultraschalltagung in Erlangen vom 2. bis 4. Mai 1949.
A. Allgemeiner Teil. Von GERHARD SCHMID 14
B. Medizinischer Teil. Von ULRICH HINTZELMANN . . . 18

KURZE ORIGINALMITTEILUNGEN.

Reflexion eines Atomstrahles am Rande eines Magnetfeldes. Von H. FRIEDBURG und W. PAUL 20

Proportionalzähler mit hohem Verstärkungsgrad. Von E. FÜNFER und H. NEUERT 20

Der Kälteblock der einzelnen markhaltigen Nervenfaser. Von HANSJOCHEM AUTRUM und DIETRICH SCHNEIDER 21

Epidemisches Auftreten von Feldfieber in Niedersachsen. Von LUDWIG POPP 22

BESPRECHUNGEN.

ALFRED SIGGEL, Katalog der arabischen alchemistischen Handschriften Deutschlands. (Ref.: PAUL WALDEN) 22

CARL FRIEDRICH v. WEIZSÄCKER, Die Geschichte der Natur. (Ref.: HERMANN WEIN) 24

R. W. POHL, Einführung in die Optik. (Ref.: M. CZERNY) . 24

L. PRANDTL, Führer durch die Strömungslehre. (Ref.: F. SCHULTZ-GRUNOW) 24

Lehrbuch der theoretischen Physik

Von

Walter Weizel

Professor der Physik an der Universität Bonn

In zwei Bänden

Erster Band: **Physik der Vorgänge.** Bewegung, Elektrizität, Licht, Wärme.

Mit 270 Textabbildungen. XIV, 771 Seiten. 1949. DMark 53.—; Ganzleinen DMark 56.90

Zweiter Band: In Vorbereitung

Jeder Band ist einzeln käuflich

Dieses neue, zweibändige Lehrbuch unterscheidet sich von seinen Vorgängern hauptsächlich dadurch, daß der Quantentheorie der ihr zukommende Platz angewiesen ist und daß, um den Inhalt des Buches näher an den Stand der Forschung heranzuführen oder die Brücke zu manchen technischen Anwendungen zu schlagen, vielfach auch Gegenstände aufgenommen wurden, die sonst in Lehrbüchern nicht berücksichtigt werden.

Der erste Band behandelt im wesentlichen die Gebiete der klassischen Physik: Mechanik der Punkte und starren Körper, Mechanik der Kontinua, Elektrodynamik, Optik, Relativitätstheorie und Thermodynamik. Der zweite Band beginnt aus didaktischen Gründen mit einer elementaren Atomtheorie, an die sich erst im zweiten Teil die systematische Behandlung der Quantentheorie anschließt. Die Theorie der Atomkerne ist noch zu sehr im Werden, als daß sie schon zur Grundlage der Darstellung der Struktur der Materie gemacht werden könnte, und wird infolgedessen am Schluß des Buches abgehandelt.

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

erscheinen zweimal monatlich und können durch jede Sortimentsbuchhandlung bezogen werden. Preis vierteljährlich 12.— DMark, für das einzelne Heft 2.50 DMark zuzüglich Postgebühren.

Nachdruck: Der Verlag behält sich das ausschließliche Recht der Vervielfältigung und Verbreitung aller in dieser Zeitschrift zum Abdruck gelangenden Beiträge sowie ihrer Verwendung für fremdsprachige Ausgaben vor.

Sonderdrucke: Den Verfassern von Originalbeiträgen und Kurzen Originalmitteilungen stehen 75 Exemplare kostenfrei zur Verfügung.

Anzeigen werden von der Anzeigenabteilung des Verlages (Berlin W 35, Reichpietschufer 20 [Britischer Sektor], Tel. 91 29 37) angenommen. Die Preise wolle man unter Angabe der Größe und des Platzes erfragen.

Springer-Verlag

Berlin · Göttingen · Heidelberg.

Redaktionelle Hinweise.

I. Allgemeines.

1. Bei der Einsendung von Manuskripten an „Die Naturwissenschaften" bittet die Redaktion die Herren Autoren, stets im Auge zu behalten, daß die Zeitschrift in erster Linie den Wünschen und Interessen des weiten Kreises ihrer Leser zu dienen hat und daß daher ihnen gegenüber Sonderwünsche der Herren Autoren in bezug auf Inhalt, Form und Umfang ihrer Veröffentlichungen zurücktreten müssen, falls die Redaktion dies für erforderlich hält.

2. Vor allem bittet die Redaktion, von der Einsendung von Aufsätzen Abstand zu nehmen, die nur für einen eng begrenzten Leserkreis verständlich und von Interesse sind, und die daher in einer Fachzeitschrift ihren richtigen Platz haben. Ausnahmen bilden knapp gefaßte Schilderungen der Ergebnisse eben fertiggestellter Arbeiten; für diese ist die Rubrik „KOM" („Kurze Originalmitteilungen") vorgesehen. Wegen Platz- und Papiermangels sind allerdings auch hier gewisse Einschränkungen nötig. In bezug auf den Inhalt: Angenommen werden können nur wirklich wichtige Arbeiten (z. B. keine bloßen Analogiearbeiten). In bezug auf den Umfang: Im Durchschnitt kann für eine einzelne KOM nur der Raum einer Spalte (etwa 1000 Silben) zur Verfügung gestellt werden.

3. Autoren, namentlich solche, welchen die Gepflogenheiten bei Veröffentlichungen in den „Naturwissenschaften" noch nicht bekannt sind, werden gebeten, in die ausführlichere Darstellung der allgemeinen redaktionellen Richtlinien Einblick zu nehmen, welche in Heft 1 des 33. Jahrgangs abgedruckt sind. Ergänzend sei hier bemerkt, daß die Rubrik „Tagesnotizen" in Zukunft nicht fortgeführt wird, daß also Einsendungen für diese zwecklos sind.

II. Spezielle Hinweise.

Alle Sendungen und Zuschriften sind zu richten an:

Redaktion der Naturwissenschaften,

(20b) Göttingen, Bürgerstraße 50.

In sämtlichen Fällen erhalten die Autoren eine Bestätigung über das Eintreffen von Manuskripten sowie über deren Annahme oder Ablehnung. In den Aufsätzen sind seltene und nur einem kleinen Leserkreis verständliche Fachausdrücke nach Möglichkeit zu vermeiden oder in einer Fußnote kurz zu erläutern. Literaturzitate sind fortlaufend zu numerieren; die angeführten Arbeiten werden dann in einem Literaturverzeichnis am Schluß der Arbeit zusammengestellt. Bei Erläuterung des Textes durch Figuren ist überflüssiger Aufwand zu vermeiden. Figurenvorlagen für Strichätzungen sind so sorgfältig herzustellen, daß nach ihnen ohne weitere Rückfragen Reinzeichnungen angefertigt werden können. Diese werden zur Zeitersparnis den Autoren im allgemeinen nicht vorgelegt, sondern seitens der Redaktion kontrolliert.

Photographische Abbildungen (Autotypien) können gebracht werden, soweit sachlich erforderlich. In vielen Fällen läßt sich jedoch das Wesentliche durch eine (leichter reproduzierbare) Zeichnung ebensogut zeigen.

Korrekturen.

Die Autoren erhalten in jedem Fall eine Fahnenkorrektur, deren umgehende Erledigung und Rücksendung (mit einem Vermerk, ob der Beitrag druckfertig oder eine Revision erforderlich ist) erbeten wird.

Einführung in die Physik. Von **Robert Wichard Pohl**, o. ö. Professor der Physik an der Universität Göttingen.

Erster Band: **Einführung in die Mechanik, Akustik und Wärmelehre.** Zehnte und elfte, verbesserte und ergänzte Auflage. Mit 547 Abbildungen, darunter 8 entlehnten. VIII, 356 Seiten. 1947. DMark 21.—

Zweiter Band: **Einführung in die Elektrizitätslehre.** Dreizehnte und vierzehnte Auflage. Mit 497 Abbildungen, darunter 20 entlehnten. VI, 302 Seiten. 1949. DMark 18.60

Dritter Band: **Einführung in die Optik.** Siebente und achte Auflage. Mit 565 Abbildungen im Text und auf einer Tafel, darunter 18 entlehnten. IV, 356 Seiten. 1948. DMark 21.—

Physik. Ein Lehrbuch. Von **Wilhelm H. Westphal.** Vierzehnte und fünfzehnte Auflage. Mit etwa 640 Abbildungen. Etwa 750 Seiten. Erscheint etwa Anfang 1950

Kleines Lehrbuch der Physik ohne Anwendung höherer Mathematik. Von **Wilhelm H. Westphal**, Berlin. Mit 283 Abbildungen. VIII, 251 Seiten. 1948. Halbleinen DMark 9.60

Kurzes Lehrbuch der Physik. Von Professor Dr. **H. A. Stuart**, Hannover. Zweite und dritte Auflage. Mit 378 Abbildungen. VIII, 284 Seiten. 1949. Halbleinen DMark 15.—

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

37. Jahrgang Heft 1 1950

Zur Frage der absoluten Geschwindigkeit geologischer Vorgänge.

Von GERHARD RICHTER-BERNBURG, Hannover.

Zeitmessungen sind für alle Vorgänge von atomphysikalischer bis zu astrophysikalischer Größenordnung ein unabdingbarer Bestandteil der exakten Naturwissenschaften. Die geologischen Ereignisse sind sachlich in diese Reihe einzuordnen, doch kannte man für sie bis vor kurzem nur relative Zeitbestimmungen. Heute mißt man das absolute Alter der Formationen mit der physikalisch-chemischen Methode, indem man den Gehalt ihrer Gesteine an Helium und Bleiisotopen in Beziehung setzt zum Restgehalt an Uran und Thorium oder indem man etwa (nach O. HAHN) die Umwandlungsmenge von Rubidium zu Strontium bestimmt. So bestehen jetzt einigermaßen sichere Werte für die Länge der einzelnen Formationen. Die Geschwindigkeit ablaufender geologischer *Vorgänge* ist damit aber noch nicht unmittelbar meßbar. Es ist von wesentlichem Interesse — besonders für die Frage nach den Ursachen des irdischen Geschehens überhaupt — die magmatischen und tektonischen Ereignisse, etwa die vertikalen, epirogenen Krustenbewegungen, oder auch nur die Sedimentbildung ihrer *absoluten Geschwindigkeit* nach leidlich sicher bestimmen zu können.

Die Beantwortung dieser Fragen erfordert jedoch — trotz der wertvollen Hinweise aus den physikalisch errechneten Zeitwerten — rein geologische Methoden. Ergebnisse wurden da besonders für das jüngst zurückliegende Diluvium erzielt. Aus sog. Bändertonen hat DE GEER durch Zählung der Jahresschichten (Warven) die Formationsdauer zu rund 500000 Jahren ermitteln können und durch physikalische Berechnung konnte diese Zahl weitgehend bestätigt werden. Auch für die Sedimente des Pontusgebietes kam man durch Zählung und Messung der Feinschichtung zu Ablagerungszeiten, die den Werten der physikalischen Methode etwa entsprechen (ARCHANGELSKI). Es handelt sich bei diesen und vielen weiteren Fällen um kontinuierlich abgesetzte, feine regelmäßige Schichten von nur sehr geringer Stärke, deren unterschiedliche Korngröße auf rhythmisch verstärkte oder ermüdende Erosion auf dem Festlande, verursacht durch größere oder geringere Niederschlagsmengen, hinweist. Solche *Warvenschichtung* ist somit das *Produkt der jährlichen Klimaperiode.*

Man setzt nun allgemein voraus, daß die Mächtigkeit, zu der sich die Sedimente anhäufen, der langsamen epirogenen Einsenkung des Ablagerungsgebietes etwa entspricht. So wird für größere Zeiträume Sedimentmächtigkeit = Absenkung gesetzt. Unter Berücksichtigung der physikalisch berechneten Formationsdauer gelangt man somit zu *absoluten Geschwindigkeiten für die negativen Vertikalbewegungen der Erdkruste.* Für große Zeitabschnitte der Erdgeschichte ergibt sich ein Mittelwert von *etwa 0,1 mm je Jahr* (vgl. STILLE 1935, LANE 1936 u. a.). Das gilt aber nur für den *Durchschnitt sehr* langer Zeiträume. Sobald nämlich mit rein geologischen Methoden einzelne Formationen untersucht werden, sprechen die Ergebnisse für weit schnellere Sedimentation und für höhere Geschwindigkeit der Krustenschwankungen. Wir sehen also mit geologischen Augen die Vorgänge schneller ablaufen, als sie es nach der physikalischen Berechnung eigentlich dürften.

Die Aufklärung dieser Diskrepanz ist ein wesentliches Problem der heutigen geologischen Forschung. Untersuchungen in dieser Richtung haben jedoch nur dort Aussicht auf Erfolg, wo eine genaue Kenntnis von Stratigraphie und Paläogeographie grundsätzliche Irrtümer weitgehend ausschließt.

Zur Klärung des Problems der absoluten Geschwindigkeit von Sedimentation und Epirogenese erscheint der *deutsche Zechstein* besonders geeignet aus folgenden Gründen: Zu den Tagesaufschlüssen kommen die guten Beobachtungsmöglichkeiten in zahlreichen Schächten und Tiefbohrungen. — Die überwiegend chemischen Sedimente gehorchen bei ihrer Bildung einigermaßen sicher erfaßbaren Gesetzen, sind jedenfalls schwer kontrollierbaren Einflüssen weniger unterworfen als klastische Ablagerungen festländischer Herkunft. — Die Kenntnis der Gesteinsfazies und damit der Gestalt der Sedimentationsräume ist so weit fortgeschritten, daß wir heute eine recht exakte Paläogeographie dieser Formationszeit rekonstruieren können. — Die mehrfache Wiederholung der gleichen Schichtengruppe innerhalb des Zechsteins, d. h. die Aufeinanderfolge von vier analogen Abscheidungszyklen (vgl. Tabelle) läßt Ergänzungen und sehr wertvolle Vergleiche zu. — Die Gesteine (Karbonate, Sulfate und Chloride) zeigen sehr häufig eine äußerst regelmäßige und feine Wechselschichtung.

Tabelle: *Die vier großen Abscheidungszyklen im deutschen Zechstein.*

			klastisch	karbonatisch	sulfatisch	chloridisch
oben: Buntsandstein (Trias)						
Niedersachsen-Serien	4.	Grenzanhydrit			+	
		Steinsalz				+
		Pegmatitanhydrit			+	
		Roter Salzton	+			
	3.	Steinsalz + Kalisalze				+
		Hauptanhydrit			+	
		Grauer Salzton	+	+		
Staßfurt-Serie	2.	Gebänderter Anhydrit			+	
		Decksteinsalz				} +
		Kalisalze				
		Steinsalz				
		Basalanhydrit			+	
		Hauptdolomit — Stinkschiefer		+		
		(Braunroter Salzton)	+			
Werra-Serie	1.	Anhydrit			+	
		Steinsalz + Kalisalze				+
		Anhydrit			+	
		Zechsteinkalk		+		
		Kupferschiefer + Konglomerat	+			
unten: Rotliegend (Unter-Perm)						

Diese *Feinschichtung* konnte ich in Grubenaufschlüssen und an Bohrkernen durch über 20000 Messungen und Zählungen erfassen. Durch Vergleiche mit anderen, gleichalten Schichten und durch Einbau der Beobachtungen in die Ergebnisse paläogeographischer Untersuchungen bot sich die Möglichkeit für eine Auswertung im Sinne des oben angeschnittenen Problems. Einzelfragen, wie die absolute Sedimentationsdauer salinarer Gesteine überhaupt, des deutschen Zechsteins im besonderen, die absolute Tiefe des Zechsteinmeeres, die Geschwindigkeit epirogener Krustenbewegungen, ihre etwaige Periodizität usw., konnten damit der Beantwortung nähergebracht werden.

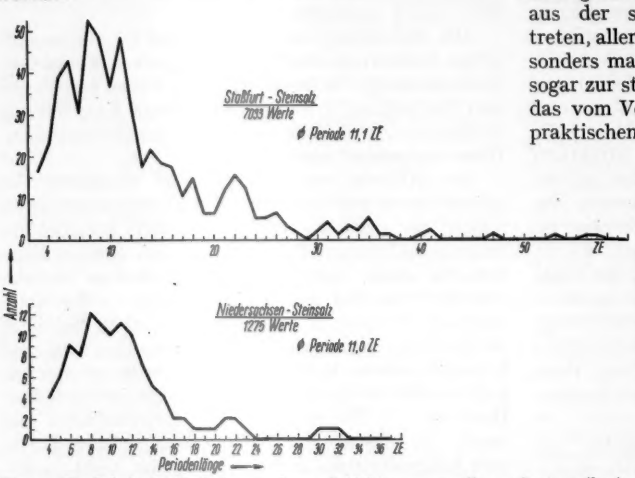

Fig. 1. Häufigkeit der Perioden, in denen Schichtungsanomalien auftreten. Zwei verschieden alte, gutgeschichtete Salzlager. Schicht = Zeiteinheit ZE = Jahr.

Jahresschichten und ihre Mächtigkeit.

Das bezeichnendste Beispiel für gute Schichtung sind die „Jahresringe" im Steinsalz. Es handelt sich um durchschnittlich 1 mm dicke, dunkle Schichtchen von ± tonigen Ca-Sulfaten (vorwiegend Anhydrit), die im Abstand von meist 5 bis 10 cm dem weißen Steinsalz eingeschaltet sind. Bei größerem Aufschluß besteht in der Erscheinung durchaus Ähnlichkeit mit den Anwachsringen der Bäume, daher der Name. Solcherart geschichtet sind die Steinsalze der Werra-Serie, der Staßfurt-Serie („Älteres" Steinsalz) und einige der Niedersachsen-Serien, somit die nach ihrer Mächtigkeit weit überwiegende Mehrzahl der Zechsteinsalze — übrigens auch solche anderer Formationen. Die Gleichartigkeit und Gleichförmigkeit dieser Erscheinung geht so weit, daß eine Unterscheidung der verschiedenaltrigen Salze nur dem Spezialbearbeiter möglich ist. Die Regelmäßigkeit über mehrere hundert Meter, die *vieltausendfache Wiederholung* des Schichtwechsels Sulfat-Chlorid, setzen eine ebenso *regelmäßige* Wiederkehr des Wechsels der Ausfällungsbedingungen voraus. Der Kleinzyklus Anhydrit-Steinsalz usw. muß also das *Produkt einer rhythmisch sich wiederholenden Zeiteinheit* sein. Von vornherein hielt man daher jede Salzschicht + Anhydritlage für das Ergebnis des annualen Klimarhythmus. Neuerdings wird diese Erklärung in zunehmendem Maße abgelehnt (LOTZE 1938, FIEGE 1939). Die — im Vergleich zu anderen Sedimenten ganz enorm dicke! — Einzelschicht von etwa 10 cm sei als Abscheidung nur eines Jahres quantitativ schwer erklärbar; auch sei aus einer so rapiden Sedimentation von mehreren hundert Metern Dicke eine unwahrscheinlich schnelle epirogene Absenkung zu postulieren. Die Frage, wie groß die Zeiteinheit ist, als deren Produkt wir die Einzelschicht im Salz anzusehen haben, glaube ich nunmehr entscheidend beantworten zu können.

Die Schichten im Steinsalz sind einander zwar weitestgehend homolog, aber durchaus *nicht absolut gleich*. Gelegentlich beobachtet man eine besonders dunkle, eine zwei- oder mehrgeteilte Anhydritlage, auch wohl einmal besonders geringen oder aber besonders großen Abstand der Sulfatschichtchen. Kurz, aus der scheinbar regelmäßigen Gleichförmigkeit treten, allerdings nur bei sehr genauer Betrachtung, besonders markante Schichten heraus. [Sie lassen sich sogar zur stratigraphischen Gliederung verwerten, wie das vom Verfasser erstmals vor etwa 20 Jahren mit praktischem Erfolg im Bergbau durchgeführt wurde[1])].

Von besonderem Interesse ist nun, daß diese *anormalen* Schichten offensichtlich *periodisch* auftreten. Zwar ist die Länge der Periode verschieden. Sie schwankt im allgemeinen zwischen 5 und 25 Normalschichten. Doch beträgt der Abstand der außergewöhnlichen Lagen besonders häufig 10 bis 12 der üblichen Schichten. Im Steinsalz der Staßfurt-Serie (Material aus 4 Tiefbohrungen bei Sangerhausen i. Südharz) konnte aus über 7000 Messungen die

Durchschnittsperiode von 11,1 Zeiteinheiten

berechnet werden. Das sog. Liniensalz der unteren Niedersachsen-Serie wurde in Schächten des Harzvorlandes zwischen Bernburg und Hannover mit 1275 Messungen erfaßt und lieferte als Durchschnittsabstand der anormalen Lagen 11,0 Einzelschichten (vgl. Fig. 1).

Diese Periode in der Salzschichtung zeigt somit im Durchschnitt den praktisch gleichen Wert wie der Turnus der Sonnenfleckenmaxima, der 11,4 Jahre beträgt. Wenn wir uns vergegenwärtigen, daß sich die Sonnenfleckenperiode nicht nur auf den jetzigen Klimagang auswirkt, sondern daß auch die mehrtausendjährigen Sequoien in ihren Anwachsringen die etwa 11jährige Wiederkehr bestimmter Klimaanomalien bezeugen (DOUGLASS 1931), so liegt die Vermutung nahe, daß auch der Gang der klimatisch bedingten Salzabscheidung vom Solargeschehen beeinflußt wurde. Analoge Folgerungen zog schon KORN (1938) aus dem Rhythmus in der Feinschichtung unterkarbonischer Gesteine in Ostthüringen. Es ist dabei von besonderem Interesse, daß in den Anomalien der Salzschichtung nicht nur die Periode von 11, sondern auch solche von 8 und 5 bis 6 Einheiten hervortreten (vgl. Fig. 1), daß also hier gleiche Intervalle vorliegen, wie sie für die Solaranomalien *nach Jahren* angegeben werden. Die relative Häufigkeit der verschiedenen Periodenlängen stimmt in zwei verschiedenaltrigen Salzfolgen erstaunlich gut überein (wie sich aus dem Vergleich der beiden Kurven in Fig. 1 ergibt).

[1]) Eine solche Möglichkeit zu schaffen, war überhaupt der Anlaß dafür, eine Zählung und Einmessung in der Grube vorzunehmen und am Bohrkernmaterial weiterzutreiben.

Die Folgerung, die *Anomalien der Salzschichtung* seien *klimatische Auswirkungen des Sonnenfleckenturnus*, liegt sehr nahe. Danach wäre die *einzelne* Salzschicht das Produkt eines *Jahres*, die Jahresringe des Salzes wären *echte Warven*. Die *absolute Geschwindigkeit der Steinsalzbildung* mit 5 bis 10 cm/Jahr wäre demnach *ausnehmend hoch*. Und Salzlager von einigen hundert Metern Mächtigkeit, wie die der verschiedenen Zechstein-Serien, hätten zu ihrer Entstehung nur je *einige tausend Jahre* benötigt.

(Das damit in den Vordergrund rückende Quantitätsproblem läßt sich vielleicht damit lösen, daß man statt der von OCHSENIUS angenommenen schmalen Überlauf-Barre oder eines nur engen Sundes zwischen Ozean und Eindunstungsbecken einen sehr ausgedehnten Schelf annimmt. Auf einem solchen „Saturationsschelf" könnte sich der Salzgehalt bereits weitgehend anreichern. Für ein Jahressediment von 10 cm Salz wäre dann keine unwahrscheinliche Verdunstungshöhe mehr nötig.)

Damit erheben sich verschiedene Fragen: können wir aus der hohen absoluten Bildungsgeschwindigkeit des Salzes eine zahlenmäßig ebenso große *Absenkungsgeschwindigkeit* des Sedimentationsraumes postulieren? Oder ist eine so schnelle Abwärtsbewegung des Meeresbodens überhaupt die *Vorbedingung* für die Salzbildung? Oder handelt es sich etwa nur um eine schnelle salinare Zufüllung einer *präexistierenden* Beckentiefe, um das „Zustreichen einer Hohlform" mit Salz?

Diese Fragen sind nur unter Berücksichtigung der faziellen und paläogeographischen Zusammenhänge zu beantworten.

Wir betrachten dazu die weiteren Zechsteinsedimente, die *Sulfate* und *Karbonate*. Mächtige Salzlager gehen oft seitwärts in *Anhydrit* über, gelegentlich mit erstaunlicher Plötzlichkeit (vgl. LOTZE 1938, G. RICHTER 1941/42). Das geschieht geographisch stets in Richtung auf das *flachere Wasser* des Beckensaumes bzw. beckeninnerer Schwellen. Bei *diesen* Sulfatgesteinen handelt es sich gewöhnlich um praktisch schichtungslose, *helle Massenanhydrite*, die z. B. in der Werra-Serie von Hessen bis zum Südharz Mächtigkeiten von 200 bis 500 m erreichen. Sie pflegen sich in Richtung auf das Becken aufzuspalten in: einen Basisanhydrit — das Steinsalzlager — einen Deckanhydrit (vgl. Fig. 3). Der erstere stellt die normale, der letztere die rückläufige Sulfatphase des üblichen chemischen Abscheidungszyklus dar (vgl. Tabelle S. 1). Der Fall ist klar in Werra- und Staßfurt-Serie verwirklicht. Bei den an der Salzbasis liegenden Beckenanhydriten, Sedimenten *tieferen Wassers*, beobachten wir — im Gegensatz zu den massigen Flachwassersulfaten — eine sehr ausgeprägte *Feinschichtung*. Sie wird dargestellt durch einen Wechsel von dünnen Anhydritlagen und hauchfeinen dunklen, bituminösen Karbonatfolien. Im Querbruch erscheinen solche Gesteine dann millimeterfein und noch dünner liniiert und ergeben ein etwa 100fach verkleinertes Abbild der „Liniensalze". Der Karbonatanteil kann auch gelegentlich, wie etwa beim sog. Anhydritknotenschiefer, den Sulfatgehalt weit übertreffen. Die Schichten sind oft von so hervorragender *Regelmäßigkeit*, daß man auch hier von vornherein geneigt ist, an die Auswirkung eines jährlichen Klimarhythmus' zu denken.

Die Zählung und Messung einiger tausend Einzelschichten ergab denn auch tatsächlich das gleiche Bild wie beim Steinsalz. Es kommen auch hier *markante Lagen* vor, die hinsichtlich ihrer Dicke und Schärfe aus der normalen Erscheinung herausfallen. Sie treten *periodisch* auf, und die — wiederum aus einigen tausend Messungen ermittelte — durchschnittliche *Periodenlänge beträgt 10,8 Einzelschichten*. (Der Durchschnittswert wird hier offenbar durch eine häufig zu beobachtende Zwischenperiode von 5 bis 6 Zeiteinheiten etwas herabgedrückt, während daneben die Doppelperiode 22 bis 23 sehr oft auftritt; vgl. unten S. 7.) Es besteht somit aller Grund, die Schichtungsperiode in den Sulfaten ebenfalls als Auswirkung des *Solarzyklus* anzusehen und die *Einzelschicht als Jahresabsatz*. Die fein und regelmäßig geschichteten sulfatischen Tiefwassersedimente können wir somit als *Warvenanhydrite* bezeichnen (vgl. Fig. 2).

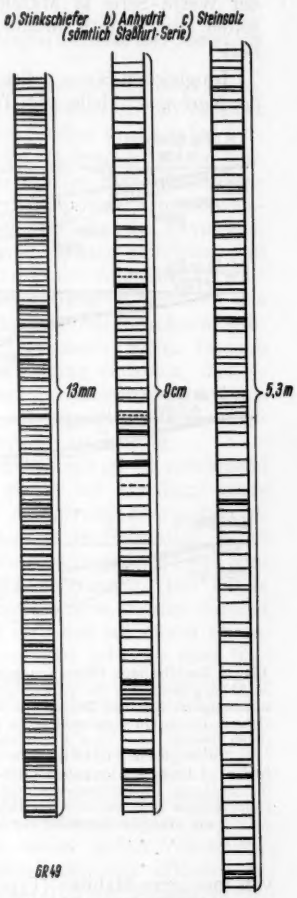

Fig. 2a—c. Warvengesteine des Zechsteins mit periodischen Sedimentationsanomalien (Solarperioden). Aus dem Maßstab ergibt sich die verschiedene Entstehungsgeschwindigkeit für wohlgeschichtete Karbonat-, Sulfat- und Chloridgesteine. a Bohrung Sangerhausen 16; b Bohrung Hameln 2; c Bohrung Kyffhäuser 7.

Daß es sich bei dem Schichtpaar Anhydrit + bituminöse Karbonatlage um einen Jahresabsatz handelt, scheint sich hier auch aus anderen Gründen zu bestätigen. Zu Beginn des Winters findet — worauf besonders ARCHANGELSKI hinweist — ein Massensterben von Plankton statt, so daß im sauerstoffarmen Bodenwasser die Menge der zur Sedimentation kommenden organischen Substanz jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen ist. Wenn also in den feinschichtigen Anhydriten ein Rhythmus im Bitumengehalt vorliegt, so spricht das — vielleicht noch nicht allein, aber sicher in Verbindung mit den periodischen Anomalien — für Jahreszeitenschichtung.

Bei diesen feinschichtigen Sulfaten beträgt das *Jahressediment* gewöhnlich 0,4 bis etwa 1 mm. Dieser Wert ist zwar im Verhältnis zu dem für ganze Formationsgruppen eingangs genannten Durchschnitt von 0,1 mm/Jahr ziemlich hoch, bleibt aber doch — im Gegensatz zum Steinsalz — einigermaßen in der Größenordnung. Anders bei den Massenanhydriten. Hier kommt man in den seltenen Fällen einer angedeuteten Regelschichtung, für welche jahreszeitliche Klimaschwankungen anzunehmen sind, zu Sedimentationsbeträgen von 5 bis 30 mm/Jahr. Die hellen

sulfatischen Massengesteine im randlichen Flachwasser sind also 10- bis 20mal so schnell „gewachsen" wie die dunklen bituminösen Warvengesteine der Beckentiefe. Damit steht in bestem Einklang, daß Basis- + Deckanhydrit des Salzlagers zusammengenommen nur einen Bruchteil so mächtig sind wie die Massenanhydrite, in die sie seitwärts gegen den Flachwasserbereich übergehen. Diese Verhältnisse sind besonders gut an der Werra-Serie in Mitteldeutschland zu studieren, gelten aber mutatis mutandis auch für die Staßfurt-Serie.

Im gleichen Sinne vollzieht sich die Sedimentation der *Karbonate*. Helle, zum Teil oolitische Dolomitkalke

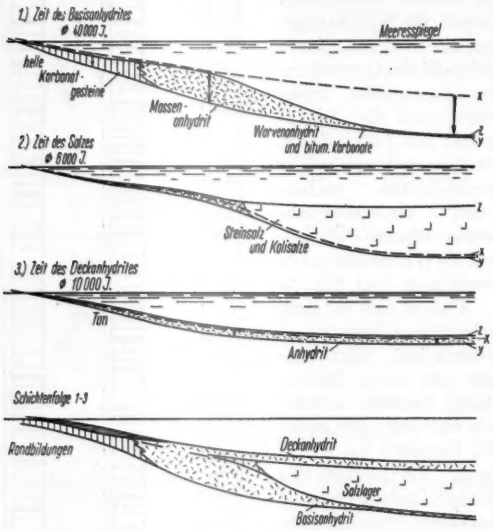

Fig. 3. Die absolute Entstehungsgeschwindigkeit von Sedimenten in Abhängigkeit von der paläogeographischen Position und in Unabhängigkeit von dem Betrag der Krustensenkung. Schematischer Schnitt durch ein Randgebiet des Zechsteinbeckens in 3 Stadien; dabei jeweils: — — — x Meeresboden zu Beginn des Vorganges; —— y die gleiche Fläche zu Ende des Vorganges; ——— z Meeresboden zu Ende des Vorganges; daher: Pfeile von x zu y = Betrag der Senkung (= Beckenvertiefung). Strecke y—z = Betrag der gleichzeitigen Sedimentation (= Beckenverflachung). Man beachte die absolute Zeitdauer der verschiedenen Stadien.

von massigem Habitus (Typus „Hauptdolomit") umziehen als Sedimente gut durchlüfteten Flachwassers das Becken in unmittelbarer Küstennachbarschaft bzw. krönen die subaquatischen Schwellen (vgl. Fig. 3). Eine Feinschichtung ist von vornherein nicht zu erwarten. Wohl herrscht aber eine solche in ausgeprägtester Form in den dunklen bituminösen Karbonaten (Typus „Stinkschiefer"), welche die zeitlich entsprechenden Sedimente tieferen und stilleren Wassers darstellen. Auch in diesen Gesteinen wurde die Feinschichtung gemessen und gezählt. Das Jahressediment beträgt da nur 50 bis 200 μ. Die *11jährige Periode* tritt auch hier in Schichten abweichender Ausbildung deutlichst hervor (Fig. 2). Solche Gesteine stellen die mit den Warvenanhydriten gelegentlich eng verbundenen Sedimente der relativ tiefsten Beckenteile des Zechsteins überhaupt dar. Bemerkenswert ist ihr küstenwärtiger Übergang in „Massenkalke", die viel mächtiger sind. So beträgt in der Staßfurt-Serie die Dicke des echten Stinkschiefers im Beckenkern etwa 6 m, die des Hauptdolomites am Beckensaum etwa 60 m.

Wir beobachten somit bei den *wohlgeschichteten* Salinargesteinen einen wesentlichen Unterschied in der Geschwindigkeit ihrer Entstehung (vgl. Fig. 2):

NaCl 5 bis 10 cm/Jahr, $CaSO_4$ 0,4 bis 1 mm/Jahr, $CaCO_3$ 0,05 bis 0,2 mm/Jahr. Die zeitlich äquivalenten *Massen*sulfate und -karbonate zeigen dagegen 10- bis 20fache Mächtigkeit, kamen also entsprechend schneller zur Ablagerung.

Danach erweist sich die *Entstehungsgeschwindigkeit* des Sedimentes als *abhängig* von der *paläogeographischen Position.*

Beckentiefe und Krustenbewegungen.

Nun setzt die Entstehung der hellen Massengesteine des Beckens*aumes* eine ziemlich gleichmäßige epirogene Absenkung des Meeresbodens voraus. So können die *Massenanhydrite* mit ihrer normalen Stärke von 200 m und mehr einerseits nur in sauerstoffreichem Wasser entstanden sein und zeigen andererseits fast gleichförmige Entwicklung über ihre ganze Mächtigkeit hin. Die abwärtige Krustenbewegung dürfte somit der Sedimentationsgeschwindigkeit fast genau entsprechen; der Vorgang wäre etwa mit dem Aufwachsen eines Korallenriffes auf sinkendem Untergrunde zu vergleichen. Mindestens dieselbe Senkung von einigen hundert Metern muß aber notwendigerweise auch den mit *bituminösen Warvenanhydriten* eingedeckten Bekken*kern* betroffen haben. Dieser lag aber schon bei Beginn des Vorganges tiefer als der Küstensaum, denn sonst bestünde der Gegensatz in der Gesteinsfazies nicht schon a priori. Hier im Beckenkern aber wurde die *Senkung* durchaus *nicht durch Ablagerung kompensiert,* wie im Flachwasser. Vielmehr bleibt hier der Sedimentationsbetrag zunächst weit hinter dem Absenkungsbetrag zurück. Das gilt für die Bildungszeit des im stagnierenden O-armen Tiefwasser sich absetzenden, fein jahresgeschichteten Basisanhydrit (vgl. Fig. 3, Bild 1).

Dann erfolgt — nur in eben demselben tiefen, zentralen Beckenteil — die *Salzabscheidung.* Wir wissen jetzt, daß dieser Vorgang für geologische Zeitmaßstäbe geradezu *spontan* abläuft. Die Beckentiefe wird von Salz praktisch „zugestrichen" (Fig. 3, Bild 2). So ist es erklärlich, daß der Deckanhydrit, der sich über das Salz legt, auch im Beckenkern als Flachwassersulfat entwickelt sein kann.

Wir entnehmen diesem durch die absolute Zeitmessung gewonnenen Beispiel, das durch die paläogeographischen Verhältnisse der Werra- und Staßfurt-Serie bestens belegt ist, wesentliche *Folgerungen.*

Erstens können wir mit weitgehender Sicherheit die Mindest*tiefe des Meeresbeckens* vor Beginn der Salzabscheidung angeben. Sie entspricht der Summe aus dem primären Tiefenunterschied zwischen Randgebiet und Beckenkern und der Gesamtmächtigkeit des Steinsalzes. Danach ergeben sich für das 200 bis 300 m mächtige Werrasalz eine Beckentiefe von mindestens 500 m, für das 400 bis 500 m mächtige Staßfurt-Steinsalz eine solche von etwa 600 bis 700 m.

Zweitens wissen wir jetzt, daß die *Geschwindigkeiten* für *Absenkung* und *Sedimentation keineswegs gleich*zusetzen sind. Die Ablagerung der Stinkschiefer und Warvenanhydrite ging *wesentlich* langsamer, die Salzausfällung erfolgte *beträchtlich* schneller als die Abwärtsbewegung der Erdkruste. Hier ist also durchaus nicht „Sediment = fixierte Senkung"! Nur auf solchem

Wege können wir die absoluten Geschwindigkeiten für sedimentäre und tektonische Vorgänge einigermaßen sicher ermitteln.

Die absolute Zeitdauer des deutschen Zechsteins.

Wenn wir nun die für die einzelnen Gesteinstypen gemessene Jahresschichtendicke und ihre absolute Anzahl zugrunde legen, so können folgende Zahlen für die *Zeitdauer* bestimmter Abschnitte der Zechsteinformation (vgl. Tabelle S. 1) als *gut belegt* gelten:

Salinarer Teil der Werra-Serie (Sulfate + Chloride)	60 bis 80000 Jahre
davon Salz allein maximal	4000 Jahre
Staßfurt-Serie insgesamt	70 bis 80000 Jahre
davon Stinkschiefer etwa	60000 Jahre,
Steinsalz + Kalisalze	6000 bis 8000 Jahre
Salinarer Teil der Niedersachsen-Serie (Sulfate + Chloride)	20 bis 40000 Jahre

Demgegenüber bestehen Unsicherheiten in folgenden Punkten. Wir haben *keine* Möglichkeit, die Sedimentationsdauer für Kupferschiefer, Zechsteinkalk, Braunroten Salzton des Werragebietes, Hauptdolomit, Grauen Salzton, Plattendolomit, Roten Salzton usw. *unmittelbar* festzustellen.

Für einige dieser Schichtglieder können wir sie jedoch indirekt aus der seitlichen Faziesverzahnung mit meßbaren Sedimenten ziemlich klar erschließen. Das gilt z. B. für den Hauptdolomit, der zeitlich einigermaßen genau dem Stinkschiefer (etwa 60000 Jahre) gleichzusetzen sein dürfte. Entsprechend darf man wohl den Plattendolomit mit dem Hauptanhydrit vergleichen, in den er seitlich übergeht. Dasselbe gilt weiterhin für den Braunroten Salzton, dessen 20 bis 30 m betragende Mächtigkeit in etwa 10000 bis 30000 Jahren zustande gekommen sein muß. Aus einem Vergleich dieses Gesteins mit dem ähnlich ausgebildeten Roten Salzton der oberen Niedersachsen-Serie wiederum darf man wohl auf dessen Sedimentationsdauer schließen usw.

Solcher Zeitbestimmung *entziehen* sich dagegen Kupferschiefer, Zechsteinkalk und Grauer Salzton, obwohl für letzteren gewisse Vergleichsmöglichkeiten mit zeitlich entsprechenden roten Tongesteinen bestehen. Hier sind wir auf vergleichende Schätzungen angewiesen, die nur mit großen Vorbehalten gegeben werden können.

Wenn wir derartige Unsicherheiten unterstellen, so kommen wir doch für die reine Sedimentationszeit der Zechsteinablagerungen zu einer Spanne, die bei etwa 400000 Jahre liegen mag. Wir haben noch zu berücksichtigen, daß um die Wende von Staßfurt- zu Niedersachsen-Zyklus, d. h. etwa an der Basis des Grauen Salztons, eine bedeutende Verlangsamung, vielleicht sogar ein Stillstand des sedimentären Vorgangs zu vermuten ist. So können wir allein für die *in den Sedimenten erfaßbare Zeit* des *deutschen Zechsteins* auf eine Dauer von rund 500000 Jahren schließen. Selbst wenn man für die Ablagerung der nicht meßbaren Tongesteine wesentlich viel mehr Zeit ansetzen wollte, so würde doch die

reine Sedimentationszeit 0,5 bis 1 Million Jahre

betragen und diesen Wert nicht überschreiten.

Diese Zahl steht nun in eklatantem *Gegensatz* zu dem physikalisch errechneten Betrag. Für das gesamte Perm gilt der Wert von 20 bis 30 Millionen Jahre heute als ziemlich sicher. Die „Zechsteinzeit" sollte *danach* also 5 bis 15, vielleicht 10 Millionen Jahre gedauert haben. Mit *geologischen* Mitteln erfaßbar ist somit nur $^1/_{20}$, besten Falles $^1/_{10}$ dieser Zeit. Gerade für unseren Fall möchte man für *beide* Berechnungsmethoden einen grundsätzlichen Fehler ausschließen. Das Mißverhältnis erklärt sich vielmehr aus der weit verbreiteten Vorstellung, es sei in der geologischen Geschichte dauernd „etwas passiert", von dem uns Kunde *im Sediment* vorliegen müßte. Demgegenüber sprechen heute schwerwiegende Gründe dafür, daß *weitaus der größte Teil der Erdgeschichte abgelaufen* ist, *ohne uns Sedimente zu hinterlassen.*

Überblicken wir z. B. die Entwicklung des Lebens, so sehen wir neue Tier- und Pflanzenarten in einer Schicht plötzlich auftauchen; selbst in scheinbar harmonisch sedimentierten Schichtfolgen sind solche Neuerscheinungen üblich. Sie führten die Paläontologie zu der Vorstellung einer „explosiven Artenentwicklung". Wir wissen jedoch aus exakten phylogenetischen Untersuchungen in geeigneten Schichten, daß die sprunghafte Entwicklung nur vorgetäuscht wird durch Hiaten in der Überlieferung, d. h. durch das Fehlen eines der Entwicklungsspanne korrelaten Sedimentes (vgl. besonders BRINKMANN 1929). Danach können wir heute die Vorstellung vertreten, daß — wenigstens soweit es sich um mechanisch sedimentierte Gesteinsserien handelt — der größte Teil der Erdgeschichte in den Schicht*fugen* steckt.

Für den deutschen Zechstein mit seinen vorwiegend chemischen Sedimenten glaube ich allerdings große Unterbrechungen in der Ablagerung ausschalten zu können. Schon im ältesten Teil der Formation, in der Werra-Serie, sehen wir eine kontinuierliche Folge feingeschichteter chemischer Ablagerungen. Der zweite Ausfällungszyklus, die Staßfurt-Serie, beginnt darüber allein in den küstennahen Gebieten mit einem schwachen Hiatus, im Beckeninneren geht sie ganz harmonisch aus der Werra-Serie hervor. Selbst der scheinbar so plötzliche Beginn des 3. Abscheidungszyklus, die Ablagerung des Grauen Salztons über das leichtestlösliche Kalilager Staßfurt hinweg, kann höchstens mit einer Verlangsamung der Sedimentation, jedoch kaum mit längerem Stillstand und Wiederaufarbeitungsvorgängen erklärt werden. Die leichtestlöslichen Kalisalze wären sonst nicht in so relativ großer Vollständigkeit und räumlicher Gleichmäßigkeit erhalten geblieben. Allein im jüngsten Teil der Formation, besonders vor und bei dem Roten Salzton, haben sicher weitgehende Aufarbeitungen stattgefunden, denen wir eine im Sediment nicht abzumessende Zeitspanne zuweisen müssen. Insgesamt haben wir also nach unserer durch beste Aufschlüsse bedingten relativ recht guten Kenntnis der ganzen Formation den *Zechstein* als eine *ausnehmend kontinuierliche Sedimentfolge* anzusehen.

Wenn diese nun in weniger als 1 Million Jahren entstanden ist, so haben wir notwendigerweise den *deutschen Zechstein* nur als geologisch *kleine Episode,* als einen zeitlichen *Bruchteil* des — vielleicht 10 Millionen Jahre dauernden — *Oberperms* anzusehen. Unvergleichlich viel längere Epochen als die „Zechsteinzeit" haben wir an der Wende zur Trias sowie an der Grenze Zechstein/Rotliegend anzunehmen — von den Zeiten der saalischen Krustenbewegungen ganz zu schweigen. Diese *Überlieferungslücken großen Ausmaßes* als solche wahrscheinlich zu machen, wäre ohne die absolute stratigraphische Zeitmessung nicht möglich.

Zur Frage der Periodizität geologischer Vorgänge.

Mit seiner *innerhalb* der Formation nachweisbar weitgehenden Kontinuität der Sedimentation nimmt der Zechstein wohl eine Ausnahmestellung ein. Betrachten wir nämlich unsere meist *mechanisch* abgelagerten Sedimentgesteine anderer Formationen, so zeigen die allerwenigsten eine regelmäßige Feinschichtung. Man kann sogar sagen, daß die Schichtgesteine ihren Namen nicht ganz zu Recht haben; denn was wir „Schicht" nennen, ist in den weit überwiegenden Fällen die Gesteins-*Bank*, die von scharfen Fugen begleitet wird. Diese Bankfugen aber sprechen, wie das BRINKMANN (1932) besonders betont, stets für *Hiatus* in der Sedimentation. Oft liegt an solchen Stellen sogar ein Diagenesesprung. So kann man *Bankung* — das hervorstechendste Merkmal der meisten Sedimentgesteine — als Zeichen sedimentärer *Unruhe* ansehen, *Feinschichtung* — den weit selteneren Fall — als Beweis für *ungestörte Sedimentation*. Wie nicht anders zu erwarten, schließen beide Erscheinungen einander praktisch aus.

Über die Entstehungsdauer einen absoluten Wert zu gewinnen, ist somit für gebankte Sedimentgesteine weit schwieriger als für solche mit Feinschichtung. Die Untersuchungen von „Senckenberg am Meer" über die Materialumwälzungen in den Nordseewatten zeigen besonders eindringlich, wie viel länger die wirkliche *Entstehungszeit* ist als die reine *Ablagerungszeit*. Wie schnell andererseits manche Sedimente zur endgültigen Ruhe kommen konnten, dafür haben wir wohl den besten Maßstab an den in situ eingedeckten, bis zu 3 m hohen Calamitenstämmen des zentralfranzösischen Karbons, die GRAND' EURY in großer Zahl abbildet. Ihre Erhaltungsmöglichkeit in aufrechter Position schätzt GOTHAN[1]) auf höchstens einige Jahrzehnte. In dieser Zeit wurden sie also mit 2 bis 3 m Sediment überschüttet. Freilich ist eine solche spontane Bildung nur in stark bewegtem, also flachem Wasser möglich und in horizontaler Richtung auch sicher relativ beschränkt. Sie kann schon in unmittelbarer Nachbarschaft durch sehr viel langsamere Sedimentation, sogar durch Abtragung ausgeglichen werden.

Damit kehren wir auch auf diesem Wege zum Ausgangspunkt unserer Betrachtungen zurück und stellen fest, daß es stärkster Schematisierung bedarf, wenn wir eine *durchschnittliche* Zahl für Sedimentations- bzw. Senkungsgeschwindigkeit geben wollten. Man sollte das grundsätzlich nur für solche Gesteine bzw. Formationsteile tun, für die 1. durch Zählung von nachweislichen Jahresschichten die absolute Ablagerungszeit tatsächlich zu berechnen ist und 2. in genauer Kenntnis der Paläogeographie die absolute Meerestiefe bei der Entstehung einigermaßen klargestellt werden kann. *Nur* aus diesen Werten ist die Geschwindigkeit der epirogenen Absenkung bzw. der Krustenbewegungen überhaupt angenähert zu ermitteln.

Sobald Bankung im Gestein vorliegt — und das trifft für die weitaus meisten Formationen zu —, bedeutet das zeitliche Variationen der Sedimentationsverhältnisse von spontaner Aufschüttung einerseits über langsame Ablagerung und mangelnden Absatz bis zur Wiederzerstörung vorhandenen Sedimentes als anderem Extrem. Sedimentäre Unruhe wird sehr häufig mit *tektonischer* Unruhe gleichgesetzt, d. h. auf vertikale Krustenbewegungen zurückgeführt — oft mit erstaunlicher Selbstverständlichkeit. Das geht soweit, daß man aus der Art der zeitlichen Sedimentationsänderungen Rückschlüsse auf die Ursache der epirogenen Bewegungen zu ermitteln sucht (z. B. A. BORN 1936). Dazu sind jedoch *wesentliche Vorbehalte* notwendig. Denn für tektonische Aufwärtsbewegung ist weder die Bankfuge noch das gröbere Sediment noch beides gemeinsam ein zwingender Beweis.

Für Unterbindung der Sedimentation wie für ihre Verlangsamung oder Beschleunigung ist die Wasserbewegung, also im wesentlichen die *Meeresströmung*, ausschlaggebender Faktor, wie das K. ANDRÉE (1920), ARN. HEIM (1924) u. a. betont haben. Meeresströmungen aber werden als solche zunächst einmal vom Klima, von der Wassertemperatur, vom Salzgehalt usw., bestimmt. „Auf jede Störung von oben, sei sie periodischer oder unperiodischer Natur, reagiert jede Grenzschicht im Inneren des Meeres äußerst rasch und mit wesentlich vergrößerten Amplituden" (DEFANT 1946). Darauf muß der Strömungsvorgang empfindlich sein und entsprechend variieren.

Sicher werden Stromverlagerungen größeren Ausmaßes auch tektonisch bedingt sein können. Tatsächlich genügen ja wohl gelegentlich Tiefenänderungen von Zentimeterbeträgen, um Strömungen in andere Bahnen zu lenken. Diese Krustenbewegungen brauchen dabei weder Sedimentations- noch Denudationsgebiet unmittelbar zu betreffen, um zur Auswirkung zu kommen. Unter bestimmten Voraussetzungen — man denke etwa an den Golfstrom — werden sie eine grundsätzliche Änderung des Regionalklimas, einerseits im neu bestrichenen, andererseits im nun nicht mehr erreichten Gebiet verursachen. Damit würden sich die Sedimentationsbedingungen grundlegend ändern müssen.

Selbst wenn nun ein Ablagerungsvorgang als eindeutig klimatisch beeinflußt erkannt werden kann, so wissen wir doch im allgemeinen noch nicht, ob das — etwa tektonisch bestimmte oder mitbestimmte — *Regional*klima oder das kosmisch bedingte *irdische Gesamt*klima für diese Beeinflussung der Sedimentation verantwortlich zu machen ist. Dem Sediment als solchem ist nicht ohne weiteres anzusehen, ob seine Entstehung auf Krustenbewegungen zurückgeht. Beobachten wir gar zyklischen Wechsel im Sedimentgestein, so erhebt sich sogleich die Frage, ob *epirogene Bewegungen periodischer Abfolge* postuliert werden dürfen. Dieser Zweifel kommt in vielen sedimentpetrogenetischen Arbeiten der letzten Jahre zum Ausdruck (vgl. z. B. FIEGE 1937).

Einer Entscheidung dieser Frage kommen wir vielleicht näher durch Einschaltung des absoluten Zeitmaßstabes. Wir konnten in den chemischen Sedimenten des Zechsteins, sowohl in manchen Karbonaten als auch besonders in den Anhydriten und im Steinsalz, die etwa 11jährige Solarperiode erfassen (Fig. 2). Es handelt sich hier jeweils um Auswirkungen eines anormalen *Jahresklimas*; anderweitig bedingte Einflüsse dürften hier schwerlich besser zu begründen sein. Die etwa 35jährige BRÜCKNERsche Klimaperiode kommt dagegen nicht zum Ausdruck. Daß sich durchschnittlich alle 23 und auch 34 Jahre ein gewisses Maximum der Sedimentationsanomalie zeigt, dürfte darauf zurückzuführen sein, daß eine oder zwei der zwischenliegenden Solarperioden infolge

[1]) Mündliche Mitteilung.

mangelhafter Klimaabweichungen im Sediment nicht abgebildet wurden.

Bezeichnend ist, daß dieses *Überspringen* von Solarperioden bevorzugt bei Gesteinen zu beobachten ist, deren Entstehung wir in *tieferes* Wasser zu verlegen haben, wie etwa Stinkschiefer und ähnliche bituminöse Karbonate. Hier wurden offenbar die abnormen Klimaeinflüsse, solange sie sich in mäßigen Grenzen hielten, durch den ausgleichenden Wasserkörper abgefangen. Man sollte danach eigentlich erwarten, daß auch in den mächtigen Steinsalzen nahe der Basis, d. h. solange ihre Ausfällung in besonders tiefem Wasser vor sich ging, ein solches Überspringen der Solarperioden üblich sei. Das Gegenteil ist der Fall. Wir beobachten vielmehr hier (wie übrigens auch in den Sulfaten) noch einen 5 bis 6 einzelne Schichten umfassenden Turnus, welcher somit etwa einer halben Solarperiode entspricht.

Im Steinsalz der Staßfurt-Serie am Südharz beobachten wir beispielshalber folgendes: Der 5- bis 6jährige Rhythmus zeichnet besonders die basalen Teile aus, die ersten etwa 360 Jahre der Salinarphase. Das bedeutet, daß in dem Salzbecken die Lösungs-, Druck-, Temperatur- usw. Verhältnisse zunächst so kritisch gestaltet waren, daß die Abscheidungsbedingungen schon durch sehr geringe Klimaänderungen beeinflußt werden konnten. Erst etwa 700 Jahre später, während welcher Zeit der 23jährige Rhythmus dominiert, und wo längere Zeiten hindurch gleichförmig sedimentiert wurde, sind ähnliche Bedingungen dann wieder verwirklicht gewesen.

Die Frage ist nun, welche Vorgänge in diesem Beispiel die Sedimentationsbedingungen variierten bzw. ihre spätere Rekurrenz bestimmten. Es zeigt sich da sowohl beim Staßfurt-Steinsalz des Südostharzes als auch am Werra-Steinsalz der Gegend von Bebra, daß in der jährlichen Ausfällungsmenge von NaCl größere Schwankungen auftreten (Fig. 4). Alle 170 bis 200 Jahre kehrt merkwürdigerweise eine gewisse Zeit beschleunigter Salzabscheidung wieder. Dieser Vorgang ist in zwei räumlich verschiedenen und zeitlich um mindestens 80000 Jahre auseinanderliegenden Formationsabschnitten feststellbar. Auch die doppelte Länge (350 bis 400 Jahre) tritt gelegentlich in Erscheinung. Als Erklärung dürften wohl allein größere *Klimaschwankungen* in Frage kommen.

Daß die Zeiten beschleunigter Salzabscheidung die Deutlichkeit der *kurzen* Solarzyklen beeinträchtigen, spricht für *periodischen Wechsel der Aridität*. Aus der paläogeographischen Situation ergibt sich, daß die Schwankungen in flacherem Wasser deutlicher zum Ausdruck kommen als in tieferem.

Auch in den Sulfatgesteinen deuten sich gewisse *zeitliche Gesetzmäßigkeiten* an. Wir sehen gelegentlich Wechselfolgen von fast massigen Anhydriten und feinschichtigen Warvenanhydriten. Fassen wir die Massenanhydrite nur als Sedimente relativ gut *durchwärmten* Wassers auf (aus dem das in kühlerem Wasser leichter lösliche Sulfat schneller ausfällt), so bedeutet der Sedimentwechsel einen Wechsel der *äußeren* Abscheidungsbedingungen. Betrachten wir sie allein als *Flachwasser*sedimente, so müßten wir aus ihrer Wechsellagerung mit bituminösen Warvenanhydriten des tieferen Stillwassers auf *Oszillationen* des Meeresbodens schließen. Welche Erklärung zutrifft, kann nicht eindeutig entschieden werden. Doch fällt zweierlei auf. Erstens ist es mit Hilfe der Schichtenzählung möglich, im tieferen Anhydrit der Werra-Serie das plötzliche Aufsetzen eines Massengesteins von der Fulda bei Bebra bis nach Mansfeld hin zeitlich zu koordinieren, d. h. über paläogeographisch unterschiedliche Gebiete hinweg. Darin bekundet sich also eine recht großräumige Einwirkung. Wäre sie einer aufwärtigen Krustenbewegung des Gesamtbereiches zuzuschreiben, so müßte sich diese besonders in den küstennahen Sedimenten bemerkbar machen, was nicht der Fall ist. Der Verdacht auf klimatischen Einfluß liegt da näher. Zweitens beobachten wir in der Anhydritfolge der Werra-Serie im Gebiet des Ostharzes, daß Warven- und Massenhydrite in etwa

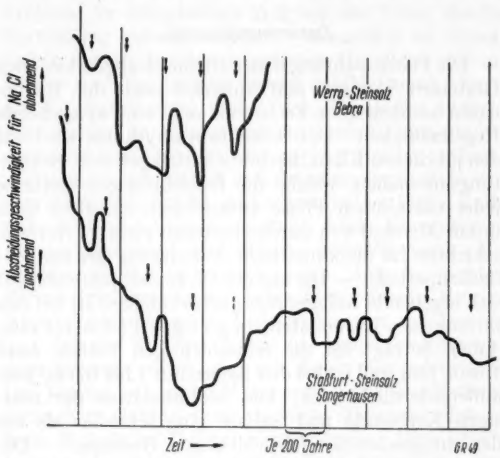

Fig. 4. Gleiche periodische Schwankungen in der Ablagerungsgeschwindigkeit von verschiedenaltrigen Steinsalzlagern.

4500 Jahre langen Rhythmen mehrfach ziemlich regelmäßig wechseln. Freilich ist solcher Turnus für ein Auf und Ab der Kruste nicht von vornherein abzulehnen. Aber wahrscheinlicher dürfte die Einwirkung einer die Gesamterde betreffenden Klimaperiode sein, die im Bereich des deutschen Zechsteinbeckens zu Schwankungen der Aridität führte.

Für größere klimatische Perioden, etwa die 20600 Jahre umfassende Präzessionsperiode, ergaben sich keine Hinweise. Und die Wiederkehr der Zahl von 60000 bis 80000 Jahren für die Länge der salinaren Sedimentationszeiten mag ein Zufall sein. Als sicher dürfte gelten, daß die vier Großzyklen des Zechsteins *nicht* auf letzten Endes klimatische Einflüsse zurückgehen. Für ihre Ausbildung ist ohne Zweifel in erster Linie die epirogene Tektonik verantwortlich, indem diese Krustenbewegungen einen mehr oder weniger wirksamen Abschluß des Zechsteinbeckens vom offenen Ozean herbeiführten, freilich auch dadurch nicht ohne Einfluß auf das Regionalklima blieben.

Die für die chemischen Sedimente des deutschen Zechsteins mit einiger Sicherheit geltenden Erkenntnisse dürfen wir nun zwar keinesfalls auf andere Formationen, vor allem nicht auf solche klastischen Aufbaues, übertragen. Wir müssen aber wohl bedenken, daß regelmäßige Sedimentationszyklen wiederkehrend gleicher Länge sich stets mit größerer Wahrscheinlichkeit auf Klimaeinflüsse als auf tektonische Krustenbewegungen zurückführen lassen.

Freilich sind die Schwankungen im irdischen Gesamtklima Auswirkungen extratellurischer Kräfte, die nicht nur auf die Atmosphäre und höhere Schichten, sondern notwendigerweise auch auf die Lithosphäre einwirken. Als Beispiel könnte man wohl die der Solarperiode entsprechenden Schwankungen der magnetischen Vertikalintensität ansehen. Ob sich in irgendeiner Form solche Einflüsse dann auch in tektonischen Reaktionen, d. h. in Deformierungen der Kruste auswirken können, ist eine Frage, die wir heute noch nicht beantworten können. Problematisch bleibt vor allem, bis zu welcher Größenordnung hinab die bisher bekannten astronomischen Perioden mit Kräften verbunden sind, die Erdkrustenverbiegungen auslösen könnten.

Zusammenfassung.

Die Feinschichtung in den chemisch abgeschiedenen Gesteinen Steinsalz und Anhydrit sowie den Karbonaten des deutschen Zechsteins zeigt eine weitgehende Regelmäßigkeit. Der Schichtungsrhythmus wird auf den jährlichen Klimarhythmus zurückgeführt. Schichtungsanomalien, welche die feinschichtigen Gesteine jeder chemischen Phase auszeichnen, sprechen nach ihrem Abstand von durchschnittlich etwa 11 Normalschichten für die klimatische Auswirkung der Sonnenfleckenperiode. — Die aus der Dicke der Jahresschicht sich ergebende Ablagerungsgeschwindigkeit ist bei den bituminösen Karbonaten am geringsten (etwa 0,1 mm/Jahr), beträgt für die feinschichtigen Sulfate rund 1 mm/Jahr und ist bei den Salzen mit 5 bis 10 cm/Jahr außerordentlich hoch. Die Sedimentation der massigen Karbonate und Sulfate ging schneller als die der entsprechenden feinschichtigen Gesteine. — Die absolute Geschwindigkeit der abwärtigen Krustenbewegungen kann aus den Sedimentationsvorgängen nur unter Berücksichtigung der paläogeographischen Position erschlossen werden. — Die reine Ablagerungszeit der deutschen Zechsteinsedimente betrug nur etwa 0,5 bis 1 Million Jahre, war somit in der insgesamt etwa 25 Millionen Jahre dauernden Permformation eine nur kurze Episode im Vergleich zu den langen Zeiten mangelnder geologischer Überlieferung vor und am Ende der Zechsteinzeit. Aus anderen Formationen bekannte Hiaten in der Sedimentation werden daher für bedeutungsvolle Überlieferungslücken gehalten. — Gewisse Periodizitäten, welche sich in den Größen von 170 bis 200 und von etwa 4500 Jahren im Zechstein anzudeuten scheinen, werden auf Schwankungen des irdischen Gesamtklimas zurückgeführt. Es bleibt die Frage offen, wieweit Klima- und Krustenbewegungs-Periodizitäten etwa auf dieselben, rhythmisch wiederkehrenden kosmischen Einwirkungen zurückgehen könnten.

Literatur.

ANDRÉE, K.: Geologie des Meeresbodens. Leipzig 1920. — ARCHANGELSKI, A. D.: Siehe bei D. WOLANSKY, Geol. Rundschau **24** (1933). — BORN, A.: Periodizität epirogener Krustenbewegungen. Internat. Geol. Congress, Rep. 16, Washington 1936. — BRINKMANN, R.: Abh. Ges. Wiss. Göttingen, math.-physik. Kl., N. F. **13**, 3 (1929). — Fortschr. Geol. u. Paläont. **11** (1932). — DEFANT, A.: Naturwiss. **33**, 1 (1946). — DOUGLASS, A. E.: Tree rings and their relation to solar variations and chronologie. Smithsonian Inst. Ann. Rep. 1931. — FIEGE, K.: Abh. Preuß. Geol. Landesanst., N. F. **177** (1937). — Zbl. Min. Geol. Paläont. B **1939**. — HEIM, ARNOLD: Geol. Rundschau **15** (1924). — KORN, H.: N. Jb. Mineral., Geol. Paläont. A **74** (1938). — LANE, A. C.: Rating the geologic clock. Internat. Geol. Congress, Rep. 16, Washington 1936. — LOTZE, F.: Steinsalz und Kalisalze. Lagerstätte der Nichterze, Bd. III/1. Berlin 1938. — RICHTER, GERHARD: Z. Kali, verw. Salze u. Erdöl **1941**, 42. — STILLE, H.: Sitzb. d. preuß. Akad. Wiss., math.-physik. Kl. **13** (1935).

Eingegangen am 10. Juni 1949.

Der Ovarialzyklus vom Standpunkt der vergleichenden Anatomie.

Von H. STIEVE.

Die meisten Tierarten paaren sich in der Zeit, in der die Weibchen ovulieren, d. h. in der reife Eier aus dem Eierstock ausgestoßen werden. Nur verschiedene Fledermausarten verhalten sich anders, sie paaren sich im Herbst, ovulieren aber im nächsten Frühjahr, und dann erst werden die Eier befruchtet (BENECKE 1879, FRIES 1879). Einzelne Fledermäuse paaren sich aber auch im Frühjahr, wie EISENTRAUT (1936, 1937) gezeigt hat. Wodurch diese Unterschiede bedingt sind, wissen wir nicht. Auch manche Insekten, so besonders Bienen und Ameisen, paaren sich nur einmal und legen dann lange Zeit hindurch befruchtete Eier ab. Bei ihnen bleiben die Samenfäden lange im Körper des Weibchens, ohne die Fähigkeit zu befruchten zu verlieren. Auch viele Vögel verhalten sich ähnlich. Bei ihnen genügt eine einmalige Paarung, um eine größere Zahl von Eiern, die innerhalb eines längeren Zeitabschnittes abgelegt werden, zu befruchten. Bei allen anderen Arten sterben Samenfäden und Eizellen kurze Zeit, nachdem sie die Nebenhoden oder Keimdrüsen verlassen haben, ab; bei ihnen fällt Paarung und Brunst innerhalb eines kurzen Zeitabschnittes zusammen.

Bei den meisten niederen Arten tritt die Brunst nur einmal während des ganzen Lebens ein. Die Mehrzahl der Insekten leben nach langer Larvenzeit als vollentwickelte Tiere nur wenige Wochen oder Tage. Dann verlassen die Eier die Eierstöcke, sie werden befruchtet und abgelegt, kurze Zeit darauf sterben die Elterntiere. Auch bei vielen Wirbeltieren finden wir Ähnliches. Der Aal lebt 5 bis 10 Jahre. Dann wandert er zu den Laichplätzen im Atlantischen Ozean, legt Eier und Samen ab und stirbt kurze Zeit danach. Da bei diesen Arten die Eierstöcke — nur ihr Verhalten soll in den folgenden Ausführungen berücksichtigt werden — sich nur einmal voll entwickeln, so spielen sich an ihnen keine zyklischen Vorgänge ab, die sich mehrmals in gleicher Weise wiederholen.

Zyklische Veränderungen zeigen die Eierstöcke bei verschiedenen niederen Wirbellosen, bei Aktinien, Regenwürmern, Blutegeln, Holothurien, thorakostraken Krebsen, Muscheln und Schnecken. Sie pflanzen sich während ihres langen Lebens jährlich einmal fort (KORSCHELT 1917); das nämliche beobachten wir bei den meisten höheren freilebenden Arten,

so besonders bei den Wirbeltieren. Sie ovulieren in jedem Jahr meist einmal während der Brunstzeit, die stets so liegt, daß die Jungen in einer Zeit geboren werden, die die günstigsten Bedingungen für ihre Aufzucht bietet. Die meisten Vögel der gemäßigten Zonen paaren sich im Frühjahr, ebenso die meisten Säuger mit nur kurzer Tragzeit. Nur wenige Vogelarten, z. B. der Kreuzschnabel, brüten während des ganzen Jahres, sowohl im heißen Sommer als auch im kalten Winter, wenn Schnee die Äste bedeckt, weil er während des ganzen Jahres reichlich Koniferensamen zur Aufzucht der Jungen findet. Säuger der gemäßigten Zonen setzen ihre Jungen gewöhnlich im Frühjahr ab, je nach der Länge der Tragzeit fällt die Brunst entsprechend früher. Der Fischotter aber, der während des ganzen Jahres gleich gut genährt ist, kann in jeder Zeit des Jahres brünstig werden.

Alle diese Arten sind periodisch brünstig. Bei ihnen befinden sich die Eierstöcke während der längsten Zeit des Jahres im Zustand der Ruhe. Sie beginnen sich nur wenige Monate oder Wochen vor der Brunst zu entwickeln; dann reifen in ihnen Eier heran. Diese werden in der Hochbrunst ausgestoßen, und nur dann können die Tiere belegt werden. Nach dieser Zeit bilden sich die Eierstöcke wieder auf einen, dem jugendlichen Verhalten sehr ähnlichen Zustand zurück und verharren in ihm bis zur nächsten Vorbrunst. Bei den meisten periodisch brünstigen Arten erstreckt sich der Ovarialzyklus, unterbrochen durch die oft sehr lange Tragzeit und Ruhezeit, über den Verlauf eines ganzen Jahres. Die Weibchen ovulieren während eines Jahres nur einmal und werden als monoestrisch bezeichnet. Von ihnen wird der Wolf im Januar, Fuchs und Wildkatze im Februar, der Edelhirsch, der Elch und das wilde Renntier im September, der Damhirsch im Oktober, die Gemse im November brünstig.

Die meisten Vogelarten sind monoestrisch. Formen mit kurzer Brut- oder Tragzeit ovulieren während einer Brunstzeit mehrmals nacheinander, so die Amsel, der Haussperling und viele andere Singvögel, unter den Säugern hauptsächlich Feldmaus, Wildkaninchen und Feldhase, der vom Februar bis September viermal wirft. Diese periodisch brünstigen Arten werden als polyoestrisch bezeichnet. In seltenen Fällen ist der Abstand zwischen zwei Brunstperioden länger als ein Jahr in Zusammenhang mit der langen Trag- und Säugezeit, so beim Walfisch, Walroß und Elefanten (MEISENHEIMER 1921). Auch diejenigen lebendgebärenden Alpensalamander, die in großer Höhe nahe der Schneegrenze leben, sind 2 bis 3 Jahre lang trächtig; sie verharren während der kalten Jahreszeit im Winterschlaf, während des Hochsommers in der Trockenruhe, und auch sie ovulieren im Abstand von mehreren Jahren.

Manche periodisch brünstigen Arten, die im Frühjahr werfen, sind bedingt dioestrisch, d. h. die Brunst kann bei ihnen zweimal im Jahre eintreten. So ovulieren weibliche Dächse im Juli und August und ein zweites Mal im Oktober. Die Eier, die im Juli befruchtet werden, entwickeln sich während des Sommers nur ganz langsam, die im Spätherbst befruchteten aber sehr schnell. Die Jungen aus beiden Brunstzeiten werden im Frühjahr geworfen (FISCHER 1931). Auch beim Edelmarder wird ein Teil der Weibchen im Januar und Februar brünstig und ovuliert; die Eier werden befruchtet und die Jungen nach einer Tragzeit von ungefähr zwei Monaten geworfen. Ein Teil der weiblichen Edelmarder, offenbar diejenigen, die im Winter nicht gedeckt wurden, wird im Juli und August brünstig. Sie werfen nach einer Tragzeit von $8^1/_2$ bis 9 Monaten erst im nächsten Frühjahr (PRELL 1930, MALLNER 1931). Ganz Ähnliches konnte WATZKA (1940) durch sehr schöne histologische Beobachtungen für das Hermelin beweisen. Es wird zweimal im Jahre brünstig, einmal im Vorfrühling. Die Weibchen, die in dieser Zeit gedeckt werden, werfen nach etwa 2 Monaten. Im Sommer findet in den Monaten Mai bis Juli eine zweite Brunst statt. Hermeline, die in dieser Zeit ovulieren und gedeckt werden, sind 8 bis 9 Monate lang trächtig und werfen erst im nächsten Frühjahr in der gleichen Zeit wie die Tiere, die im Vorfrühling gedeckt wurden. Wesentlich ist dabei, daß in den Hoden der männlichen Hermeline nur im Winter und Vorfrühling Samen gebildet wird. Nach der Frühjahrsbrunst bilden sich die Hoden zurück, doch werden im Nebenhoden massenhaft Samenfäden gespeichert und erst bei der zweiten Brunst entleert.

Ganz ähnlich verhält sich das europäische Reh, von dem längst bekannt ist, daß es zweimal im Jahre, Ende Juli — Anfang August einesteils, Ende November — Anfang Dezember anderenteils, brünstig wird. BISCHOFF (1854) konnte nun zeigen, daß die meisten Ricken im Hochsommer befruchtet werden. KEIBEL (1899) bestätigte seine Untersuchungen und bewies, daß sich die Eier des Rehes bis zum Dezember nur ganz langsam entwickeln, von da ab aber sehr rasch. Die Jungen werden im Mai gesetzt. Auf Grund dieser Tatsachen glaubte man ziemlich allgemein, daß es beim Reh keine Dezemberbrunst gebe. Dies ist ein Irrtum. Ich habe eine große Zahl männlicher und weiblicher Rehe aus allen Zeiten des Jahres histologisch untersucht und dabei folgendes festgestellt (STIEVE 1949). Die meisten Ricken werden, entsprechend den Beobachtungen von BISCHOFF (1854) in der Sommerbrunst befruchtet. Ihre Eier entwickeln sich so, wie KEIBEL (1899) gezeigt hat, nach einer Tragzeit von 10 Monaten werden die Jungen geworfen. Ein Teil der Ricken aber, offenbar alle, die während des Sommers nicht brünstig waren oder aber nicht gedeckt wurden, ovuliert Ende November und Anfang Dezember. Sie werden bei dieser zweiten Brunst gedeckt; ihre Eier reifen dann rasch, ohne zwischengeschaltete verzögerte Entwicklung heran, so daß die Jungen auch im Mai, aber nach einer Tragzeit von nur etwa 6 Monaten gesetzt werden. Die Böcke verhalten sich ähnlich wie die männlichen Hermeline. Ihre Hoden reifen im Winter und Frühjahr heran und bilden sich nach der Sommerbrunst wieder auf einen Ruhezustand zurück, wie ja deutlich aus der Tatsache zu erkennen ist, daß sie im Oktober ihr Gehörn abwerfen. In ihren Nebenhoden werden aber massenhaft Samenfäden gespeichert, und mit ihnen werden die Eier in der Winterbrunst befruchtet. Durch diese Beobachtungen glaube ich, die heiß umstrittenen, von Jägerlatein reichlich verschleierten Vorgänge der Rehbrunst endgültig geklärt zu haben.

Über die Brunstzeit der freilebenden Affenarten gibt nur HEAPE (1900) an, daß sie hauptsächlich im März werfen. Sie sind etwa 7 Monate lang trächtig, paaren sich demnach gewöhnlich im August. Von den Brüllaffen Südamerikas ist bekannt, daß sie im Juni

oder Juli werfen, manchmal auch schon Ende Mai oder erst Anfang August (Heck 1925). Sie paaren sich demnach im November und Dezember. Van Herwerden (1906) gibt allerdings an, daß die Affen und die ihnen nahestehenden Säugerarten sich während des ganzen Jahres paaren und in bestimmten Zeitabständen, die nur durch Trächtigkeit und Stilltätigkeit unterbrochen werden, ovulieren; doch ist dabei zu berücksichtigen, daß diese Beobachtungen nur an gefangen gehaltenen Affen gemacht wurden. Es ist des weiteren wichtig, daß nach den Angaben von Hartman (1932) Rhesusaffen in der Gefangenschaft zwar alle 27 bis 30 Tage menstruieren, sich aber nicht nur während der Ovulation, die am 14. bis 16. Tage nach dem Beginn der Blutung eintritt, sondern auch außerhalb dieser Zeit paaren, also in einer Zeit, in der sie unfruchtbar sind. Hier finden wir Vorgänge, die an das Verhalten des Menschen erinnern.

Bei den meisten Haustieren haben sich unter dem Einfluß der Domestikation die zyklischen Vorgänge in den Eierstöcken verändert; sie sind polyoestrisch, viele sogar in mancher Hinsicht chronisch brünstig, d. h. sie können außerhalb der Tragzeit zu jeder Zeit des Jahres befruchtet werden (Zietschmann 1924). Die zahme Hausmaus ovuliert nach Grosser (1927) im Abstande von 17 bis 21 Tagen, die zahme Hausratte (Long und Evans 1922) ovuliert alle 4 bis 5 Tage, das Meerschweinchen (Stockhard und Papanikolau 1917) alle 15 bis 17 Tage, die Brunst dauert bei ihm etwa 24 Stunden. Die drei genannten Arten können als vollkommen domestiziert bezeichnet werden. Die Haushündin wird meist zweimal im Jahre brünstig, die Hauskatze drei- bis viermal. Falls keine Trächtigkeit eintritt, ovuliert das Hauspferd alle 21 bis 28 Tage, das Hausrind alle 21 (17 bis 30 Tage), das Hausschaf alle 14 bis 21 Tage, ebenso die Hausziege, doch werden viele Ziegen nur zweimal im Jahre brünstig, im Herbst und dann wieder im Frühjahr, gewöhnlich am 10. Tage nach dem Wurf (Schmalz 1921).

Die Zeit der Eiablage kann verschieden lang sein. So legt das Haushuhn im Spätwinter und Frühjahr in zwei mehr oder weniger rasch aufeinanderfolgenden Brunstperioden je 10 bis 18 Eier an ebenso vielen Tagen. Bei vielen Fischen und Fröschen, auch beim Feuersalamander, verlassen alle reifen Eier den Eierstock gleichzeitig. Bei manchen Selachiern, den Wassermolchen und allen Vogelarten werden die Eier im Verlaufe mehrerer Tage oder Wochen nacheinander abgelegt. Bei den meisten Säugern werden im Gegensatz dazu alle reifen Eier gewöhnlich gleichzeitig aus dem Eierstock ausgestoßen. Sie bleiben nur 1 bis 2 Tage befruchtungsfähig, und nur während dieser Zeit, der Hochbrunst, können die Tiere gedeckt werden.

Bisher sind die zyklischen Veränderungen der Eierstöcke nur bei wenigen Säugerarten genau untersucht worden. Selenka (1886) beobachtete sie bei der Beutelratte. Bei ihr tritt die Brunst der Weibchen gewöhnlich nur einmal im Jahre ein, und zwar in der Zeit von Ende Februar bis etwa Mitte April. Werden aber den Muttertieren die Jungen kurz nach dem Gebären aus dem Beutel fortgenommen, oder werden die Tiere in der Brunst nicht belegt, so können die Weibchen im gleichen Jahre noch ein zweites Mal brünstig werden, jedoch spätestens Anfang Juni. Die Brunst des Weibchens dauert jedesmal 3 bis 4 Std. Nur während dieser Zeit können die Tiere belegt werden. Andere Marsupalier wurden von Hill und O'Donoghue (1913) untersucht. Sie verhalten sich im großen und ganzen gleich, weshalb ich hier nur auf die Befunde eingehe, die am gemeinen Tüpfel-Beutelmarder erhoben wurden. Er wird nur einmal im Jahre brünstig, Ende Mai oder Anfang Juni, manchmal auch bis in den August. Nur in einem Fall fielen Brunst und Ovulation zusammen. Gewöhnlich platzen erst 6 bis 7 Tage nach der Brunst die Mehrzahl der sprungreifen Follikel (28 bis 35 Stück) gleichzeitig, doch wird die Ovulation nicht durch die Paarung ausgelöst; sie erfolgt spontan. Die Gelbkörper entwickeln sich sehr rasch und bleiben nicht nur während der kurzen Tragzeit, sondern darüber hinaus während der ganzen 15 bis 17 Wochen dauernden Laktationszeit erhalten, solange die Jungen sich im Beutel des Muttertieres befinden. Erst nach der Säugezeit bilden sich die Eierstöcke wieder auf einen Ruhezustand zurück. Werden die Weibchen nicht befruchtet, so bilden sich die Gelbkörper in der gleichen Weise aus wie während der Tragzeit und bleiben auch dann sehr lange erhalten. Erst verhältnismäßig spät bilden sich die Eierstöcke wieder auf einen vollkommenen Ruhezustand zurück.

Viele Säuger sind nur während weniger Tage, ja sogar Stunden hochbrünstig. Beim Hausschaf tritt die Brunst gewöhnlich im Alter von 8 bis 10 Monaten das erste Mal ein (Frölich und Lüthge 1930) und wiederholt sich dann in regelmäßigen Zeitabständen. Sie währt nur 8 bis 12 Std. Zu Beginn der Hochbrunst enthalten die Eierstöcke (Stieve 1934) 1 bis 2 sprungreife Follikel, deren Eizellen sich im Zustande der ersten Reifeteilung befinden. Während der Hochbrunst platzen die Follikel, und zwar unabhängig davon, ob die Tiere gedeckt werden oder nicht. Sobald die Follikel geplatzt sind, ist die Hochbrunst beendet. Die Hündin läßt den Hund gewöhnlich nur zwischen dem 9. und 11. Tage der Brunst zu, und es ist noch nicht sicher entschieden, ob bei ihr alle Eier gleichzeitig die Eierstöcke verlassen, oder ob zwischen dem 6. und 11. Tage mehrmals Eier ausgestoßen werden. Die Tatsache, daß eine Hündin in kurzem Zeitabstand von zwei männlichen Hunden gedeckt werden kann, läßt dies wahrscheinlich erscheinen.

Bei manchen Arten tritt die Brunst zwar zu bestimmten Zeiten auf, doch verlassen die Eier die Eierstöcke nur in unmittelbarem Anschluß an die Paarung, ein Vorgang, den man als „provozierte Ovulation" bezeichnet. So hat schon Bischoff (1942) in seinen grundlegenden Untersuchungen ermittelt, daß Hauskaninchen gewöhnlich erst 9 bis 10 Std nach der Paarung ovulieren, Westman (1842) konnte in besonders schönen Untersuchungen zeigen, daß dies unter dem Einfluß des Nervensystems auf dem Wege über die Hypophyse geschieht. Auch die Hauskatze, das Frettchen und nach Hansson (1947) auch der Nerz ovulieren im allgemeinen nur nach erfolgter Paarung, wahrscheinlich auch der Igel. Ich konnte (Stieve 1949) zwei Igelweibchen untersuchen, deren Scheide noch durch den großen, vom Sekret der akzessorischen männlichen Geschlechtsdrüsen gebildeten Vaginalpfropf gefüllt war. Das eine der beiden Weibchen wurde unmittelbar nach der Paarung getötet, das andere erst einen Tag später. In beiden Fällen war

noch kein Follikel geplatzt. Bei Kaninchen, Hauskatze und Frettchen kommen jedoch auch spontane Ovulationen vor; sie wurden beim Kaninchen von LONG und EVANS (1922) u. a. beschrieben. HAMMOND und MARSHALL (1925) geben an, daß brünstige Kaninchenweibchen auch ohne Paarung „nach sexueller Erregung wie Bespringen durch die Männchen mit Verhinderung des Koitus, Bespringen durch ein zweites Weibchen oder durch erotisierendes Bestreicheln des Rückens und der Vulva" ovulieren können. PODLESCHKA und DWORZAK (1933) beobachteten ganz einwandfrei spontane Ovulationen am Eierstock eines Kaninchens, der in die vordere Augenkammer verpflanzt worden war. Bei der Katze wurden spontane Ovulationen von BONNET (1897), HILL und TRIBE (1924), GROSSER (1927), TIETZE (1938) und STIEVE (1942) beobachtet, beim Frettchen von LONG und EVANS (1922). Offenbar tritt bei Kaninchen, Katze und Frettchen für gewöhnlich die Ovulation nur in unmittelbarem Anschluß an die Paarung ein. Werden die brünstigen Tiere aber innerhalb eines gewissen Zeitabschnittes nicht gedeckt, so können sie auch spontan ovulieren, oder es bildet sich nach den Beobachtungen von TIETZE (1938) eine Art von Dauerbrunst aus.

Beim Menschen findet keine eigentliche Brunst statt, wenigstens paaren sich bei allen zivilisierten Völkern die Frauen unabhängig von den Vorgängen, die sich bei ihnen an den Eierstöcken abspielen, zu jeder Zeit des Jahres, vielfach auch während und nach dem Klimakterium, wenn die Ovarialfunktionen längst zum Stillstand gekommen sind. Über die Vorgänge, die sich beim Menschen an den Eierstöcken abspielen, gibt die monatliche Blutung einigermaßen sicheren Aufschluß. Sie ist nicht, wie man früher allgemein annahm, etwas Ähnliches wie die Blutung, die bei manchen Arten, z. B. den Hunden, in der Vorbrunst erfolgt, sondern sie ist ein Zeichen dafür, daß die Frau einige Zeit, meist 10 bis 14 Tage vorher ovuliert hat, aber nicht befruchtet wurde. Doch muß betont werden, daß Blutungen aus der Gebärmutter bei der Frau nicht ausschließlich im Anschluß an eine Ovulation erfolgen. Häufig genug treten beim Weibe sog. „Nichtovulationsblutungen" ein, besonders im Anfang der Pubertät, aber auch zu anderen Zeiten. Ähnliches hat HARTMAN (1932) bei Rhesusaffen beobachtet. Außerdem kann bei der Frau im Anschluß an stark erregende Ereignisse plötzlich eine Blutung eintreten, bei der, wie ich zeigen konnte (STIEVE 1942), die Gebärmutterschleimhaut in der gleichen Weise abgestoßen wird wie bei der echten Menstruation, ohne sich im Zustand des Praemenstruums zu befinden.

Ursprünglich war der Mensch wohl periodisch brünstig, und auch jetzt erkennt man bei manchen Völkern, die noch nicht durch die Kultur in Ernährung und Wohnungsweise mehr oder weniger unabhängig von klimatischen und sonstigen Einflüssen geworden sind, Anklänge daran. So sollen — ich folge den Ausführungen von MEISENHEIMER (1921), — die zwischen dem 76. und 79. Breitegrad lebenden Eskimos „während des langen Polarwinters geschlechtlich stark herabgestimmt" sein; die Frauen menstruieren in dieser Zeit nicht (STOECKEL 1940), sie zeigen dagegen beim Wiederauftauchen der Sonne „eine mehrere Wochen anhaltende Periode gesteigerter Sexualität". Auch von primitiven, in den Tropen lebenden Naturvölkern ist Ähnliches bekannt, so besonders von den Australnegern, bei denen im September, dem Frühjahr der südlichen Erdhälfte, erotische Feste stattfinden. Ja, selbst bei europäischen Kulturvölkern weisen manche Frühjahrs- und Herbstfeste ihrer Herkunft und ihrem Sinne nach auf frühere Brunstperioden hin. Von diesen Besonderheiten abgesehen, ist der zivilisierte Mensch in der gleichen Weise wie die meisten Haustiere chronisch brünstig, d. h. außerhalb der Schwangerschaft und Stillzeit reifen in seinen Eierstöcken regelmäßig im Abstande von meist 28 Tagen ein, in Ausnahmefällen mehrere Follikel heran, platzen, und dabei wird die Eizelle ausgestoßen.

Bei allen Arten ist die Brunst letzten Endes bedingt durch bestimmte Veränderungen an den Keimdrüsen. Bei den weitaus meisten Arten, d. h. allen, bei denen die Samenfäden im Wasser oder im Körper der Weibchen nicht längere Zeit am Leben bleiben, verändern sich die Eierstöcke einmal, bei den periodisch brünstigen Arten öfter während des Lebens in der Zeit der Vorbrunst in ganz bestimmter Weise. Nur in ihr reifen in den Eierstöcken Eier heran. Sie sind von einer besonderen Zellform, den Follikelepithelzellen, umgeben; diese sondern die Nährstoffe an die Eizellen ab, von denen der sich entwickelnde Embryo so lange lebt, bis er imstande ist, sich selbst aus der Umgebung zu ernähren. Je nach der Zeit, in der dies eintritt, ist die Nahrungsmenge, die die Eizelle vom Eierstock erhält, verschieden groß, am größten bei Haifischen, ebenso bei Reptilien und Vögeln, deren Eier von einer festen Schale umgeben sind, in der sich der Keim entwickelt, außerdem auch bei den eierlegenden Säugern, Ameisenigel und Schnabeltier. Die großen Mengen der Nährstoffe, die in den Eierstockseiern gespeichert werden, sind auch der Grund dafür, daß die Follikelhülle schließlich platzt und das Ei ausgestoßen wird. Bei den plazentaren Säugern verbindet sich das befruchtete Ei sehr bald mit der Schleimhaut der Gebärmutter und entzieht der Mutter rücksichtslos wie ein Schmarotzer alle die Stoffe, die es für seine Entwicklung und sein Wachstum benötigt. Es ist nach ganz kurzer Zeit imstande, sich aus dem Blute der Mutter selbständig zu ernähren. Die Eier der plazentaren Säuger enthalten dementsprechend nur wenige Nährstoffe, die das Leben des befruchteten Eies so lange sichern, bis es sich in der Gebärmutter eingenistet hat, beim Menschen nur während eines Zeitabschnittes von wenigen Tagen. Aus allen diesen Gründen sind die Eier der Säuger sehr klein, hat doch das menschliche Ei nur einen Durchmesser von 110 bis 130 μ. Die Follikelepithelzellen sondern dementsprechend bei den Säugern nur äußerst wenig Nährstoffe ab; sie haben aber in der gleichen Weise wie bei den Arten mit großen, reich mit Nahrung beladenen Eiern die Aufgabe, das Ei aus dem Eierstock zu befreien.

Zweifellos stammen alle Säuger von Arten ab, die reich mit Dotter beladene Eier ablegten. Auch im Säugereierstock vermehren sich die das Ei umgebenden Follikelepithelzellen während der Vorbrunst sehr erheblich. Auch sie sondern ab, jedoch nur ganz wenig Nährstoffe für das Ei, sondern hauptsächlich klare, eiweißhaltige Flüssigkeit. Dadurch entsteht zwischen den Follikelepithelzellen ein Hohlraum, das Cavum folliculi; es wird größer und größer, und während das Ei ganz klein bleibt, vermehren sich die Follikel-

epithelzellen ganz gewaltig; sie sondern dauernd in den gebildeten Follikelhohlraum ab. Dadurch wird der Follikel im ganzen größer und größer; er erreicht beim Menschen einen Durchmesser von 1,5 bis 2 cm und wird schließlich bei allen Säugern durch den Druck, den die Follikelflüssigkeit auf seine Wand ausübt, gesprengt. Dann fließt die Flüssigkeit aus und gelangt mit dem Ei und der dieses umgebenden Zelllage, der Corona radiata, in den Eileiter. Das Epithel und die bindegewebige Wand des Follikels mit ihren großen, aus Bindegewebszellen entstandenen Thecazellen bleiben im Eierstock zurück, die Epithelzellen verändern sich dann in bestimmter Weise.

Bei allen Arten reifen also in der Vorbrunst die Eier heran, sie verlassen während der Brunst den Eierstock und werden dann abgelegt, vom Lanzettfischchen in großer Zahl gleichzeitig, ebenso von den Neunaugen. Die meisten Fische legen viele, oft bis zu mehreren Millionen Eier gleichzeitig ab, gewöhnlich in der günstigsten Zeit des Jahres, im Frühjahr, doch gibt es auch ausgesprochene „Winterlaicher", z. B. die Lachse. Beim Katzenhai erstreckt sich die Laichzeit über den ganzen Winter. Auf das Verhalten der lebendgebärenden Fische will ich hier nicht eingehen. Die Eier der meisten Amphibien und Reptilien verlassen die Eierstöcke gleichzeitig, nur einzelne Molcharten laichen im Frühjahr während mehrerer Wochen ab; bei ihnen verlassen die Eier die Ovarien einzeln innerhalb eines langen Zeitabschnittes. Das nämliche ist auch bei der Mehrzahl der Vogelarten der Fall, die mehrere Eier ablegen. Genau untersucht ist vor allem das Verhalten der Eierstöcke beim Haushuhn (Stieve 1918). Beim eben geschlüpften Hühnchen ist der Eierstock 7 bis 8 mm lang, 2 mm breit und kaum 1 mm dick. Er vergrößert sich während der nächsten 3 Monate nur wenig. Erst im Alter von 3 bis 4 Monaten wachsen in ihm eine größere Anzahl, meist 40 bis 60 Follikel bis zu einem Durchmesser von 4 bis 9 mm heran. Die überwiegende Mehrzahl von ihnen verharrt dann im Zustande der Ruhe und vergrößert sich nur wenig oder gar nicht. Hühner guter Rassen beginnen im Alter von $5^1/_2$ Monaten zu legen. 2 bis 3 Wochen vorher wachsen einige der ruhenden Follikel heran. In ihren Eizellen wird der von den Follikelepithelzellen abgesonderte Gelbdotter abgelagert, und zwar in großer Menge innerhalb sehr kurzer Zeit. Bei Hühnern, die täglich legen, vergrößern sich die Follikel innerhalb von 7 Tagen von einem Durchmesser von 9 mm und 381 mm³ Rauminhalt auf 36 mm Durchmesser und 22445 mm³ Rauminhalt, also auf das fast 60fache. Gleichzeitig reifen weitere Follikel heran und platzen in bestimmten Zeitabständen nacheinander, sobald sie ihre endgültige Größe erlangt haben.

Die Hüllen der geplatzten Follikel, nämlich das Epithel und die bindegewebige Theca, die als sog. Kelche im Eierstock zurückbleiben, werden zu Gelbkörpern. Sie bilden sich rasch zurück, ohne zu verhindern, daß weitere Follikel heranreifen. Erst wenn das Huhn zu brüten beginnt, reifen keine weiteren Follikel mehr heran, und der größte Teil der 3 bis 9 mm großen Follikel geht zugrunde ohne zu platzen, er verfällt der Atresie. Nach der ersten Brut reifen aber wieder neue Follikel heran. Dann wiederholen sich die nämlichen Vorgänge wie vor und während der ersten Eiablage. Nach der zweiten Brut bildet sich der ganze Eierstock auf einen den jugendlichen Verhältnissen sehr ähnlichen Zustand zurück, nur die Primärfollikel bleiben erhalten. Im nächsten Jahre entwickelt sich dann der Eierstock wieder in der gleichen Weise wie im vorhergehenden. Diese zyklischen Veränderungen spielen sich während des ganzen Lebens in der nämlichen Form ab; sie sind noch deutlicher an nicht domestizierten Vogelarten, die nur einmal im Jahre brüten, zu beobachten.

So ist bei der Dohle (Stieve 1918) der Eierstock im Juli sehr klein, 6 bis 7 mm lang, 4 bis 5 mm breit und 2 mm dick. Er verändert sich bis zum nächsten Frühjahr nicht in nennenswerter Weise. Erst im Februar und März vergrößern sich dann zahlreiche Primärfollikel; die Vorbrunst beginnt. Im April enthält der Eierstock 12 bis 20 gestielte Follikel von 1,3 bis 2,6 mm Durchmesser. Die eigentliche Brunst beginnt zwischen dem 15. und 20. April, dann reifen nacheinander im Abstand von 1 bis 2 Tagen 5 bis 7 der gestielten Follikel heran. In ihnen wird gelber Dotter aufgespeichert, und wenn die ganze Eizelle einen Durchmesser von 14,0 bis 15,2 mm (im Mittel 14,6 mm) erlangt hat, platzt der Follikel, und das Ei wird abgelegt. Auch bei der Dohle reifen die Follikel sehr schnell. Sie vergrößern sich in 4 Tagen von einem Durchmesser von 3,6 mm und etwa 24 mm³ Rauminhalt auf einen Durchmesser von 14,6 mm und 1627 mm³ Rauminhalt, also gut auf das 68fache. Die im Eierstock verbleibenden Kelche bilden sich während der Brütezeit im Verlaufe von kaum 2 Wochen zurück, ebenso alle gestielten Follikel, die nicht heranreifen. Der ganze Eierstock wird schon während des Brütens so klein wie vor der Vorbrunst und verharrt in diesem Zustande bis zum nächsten Jahr.

Wodurch die Eiablage bei den Vögeln letzten Endes beendet wird, ist noch nicht bekannt. Gewöhnlich legt jede Vogelart nur eine bestimmte, für sie bezeichnende Anzahl von Eiern ab und beginnt dann zu brüten. Wird ein Teil der Eier, aber nicht alle, aus dem Nest entfernt, bevor das Gelege vollständig ist, so legen die Vögel nach, und zwar so lange, bis die für die betreffende Art bezeichnende Eierzahl, bei der Dohle 6, höchstens 7 Stück, erreicht ist. Erst dann beginnt der Vogel zu brüten. Dieses Nachlegen kann sich mehrmals wiederholen, so lange bis alle Eier, die beim Beginn der Brunst als gestielte Follikel ausgebildet wurden, herangereift und ausgestoßen sind. Im höchsten Fall legte bei meinen Beobachtungen eine Dohle 17 Eier nacheinander ab. Von der Elster und anderen Arten ist bekannt, daß sie, falls ihnen immer wieder Eier fortgenommen werden, so lange nachlegen, bis sie vor Erschöpfung zugrunde gehen. Dies zeigt deutlich, daß das Gelege selbst vielleicht durch den Reiz, den es auf den Brutfleck des weiblichen Vogels ausübt, das Ende der Eiablage bedingt; es zeigt aber auch deutlich, in welch tiefgreifender Weise der Gesamtkörper des weiblichen Vogels durch die Eiablage in Anspruch genommen wird. Ein Goldhähnchenweibchen, das ein Gewicht von 5,5 g besitzt, legt im Verlaufe von 10 Tagen 10 Eier ab, deren jedes 0,72 g schwer ist; das Gewicht des ganzen Geleges beträgt also 7,20 g, das ist 120% des Körpergewichtes. Ähnlich verhält sich die Schwanzmeise, die bei einem Körpergewicht von 8,5 g innerhalb von 12 Tagen 12 Eier mit einem Gewicht von 11,3 g ablegt (Heinroth 1926). Während des Brütens bildet sich auch

bei diesen Arten der Eierstock wieder auf einen den jugendlichen Verhältnissen ganz ähnlichen Zustand zurück und entwickelt sich erst wieder in der Vorbrunst im nächsten Frühjahr.

Wie schon erwähnt, bilden sich bei allen Vogelarten die im Eierstock verbleibenden Follikelhüllen rasch zurück. Aus ihnen entsteht zunächst ein Corpus luteum von ganz kurzer Lebensdauer, das keinen deutlichen Einfluß auf die Gestaltung der keimleitenden Wege ausübt. Auch bei den Haifischen bleiben die Follikelepithelien nach der Ovulation im Eierstock, bilden sich aber sehr rasch zurück, ebenso bei den meisten Amphibien. Nur beim Alpensalamander, dessen Junge sich ja innerhalb von etwa 2 Jahren in den Eileitern entwickeln, bleiben die Follikelepithelien länger erhalten, und man gewinnt fast den Eindruck, daß sich bei ihnen eine Art von Gelbkörpern ausbildet. Die Einzelheiten dieser Vorgänge sind noch nicht genauer untersucht; wirkliche Gelbkörper entwickeln sich nur bei den Amnioten. Bei Reptilien wurden sie von MINGAZZINI (1893), HETT (1933) u. a. beschrieben. Bei der Zauneidechse sind sie deutlich zu erkennen. Die Epithellage wird nach dem Follikelsprung dick, da sich ihre Zellen vergrößern und von der Theca her Gefäße in sie einwuchern. Sie bilden sich aber rasch zurück ebenso wie bei den Vögeln, bei denen sich auch das Epithel der geplatzten Follikel verändert, seine Zellen vergrößern sich und werden von Blutgefäßen durchsetzt, aber auch sie gehen rasch zugrunde.

(Fortsetzung folgt.)

Literatur.

ANCEL, P., et P. BOUIN: C. r. Soc. Biol. Paris **65**, 365 (1908). — BARDENHEUER, F. H.: Die Unfruchtbarkeit der Frau. München: J. F. Lehmann 1942. — BENECKE, B.: Zool. Anz. **2** (1879). — BESOLD, F.: Zbl. Gynäk. **67**, 2111 (1943); **70**, H. 12 (1949). — Z. Geburtsh. **125**, 285 (1943). — BISCHOFF, TH.: Entwicklungsgeschichte des Kaninchens. Braunschweig: F. Vieweg & Sohn 1842. — Entwicklungsgeschichte der Säugetiere und des Menschen. Leipzig: Voß 1842. — Beweis der von der Begattung unabhängigen periodischen Reifung und Loslösung der Eier der Säugetiere und des Menschen. Leipzig: Voß 1844. — Zur Entwicklungsgeschichte des Rehes. Gießen 1854. — DE BOAS, E.: Nederl. Tijdschr. Geneek. **1934**. — BONNET, R.: Anat. H. **9**, 419 (1897). — CAFFIER, P.: Zbl. Gynäk. **67**, 681 (1943). — DARWIN, CH.: Das Variieren der Tiere und Pflanzen im Zustande der Domestikation. Deutsch von CARUS. Stuttgart 1878. — EISENTRAUT, M.: Z. Morph. u. Ökol. Tiere **31**, 86 (1936). — Zbl. Kleintierkde u. Pelztierkde **13**, 176 (1937). — FISCHER, E.: Verh. anat. Ges. **40**, 22 (1931). — FRIES, S.: Zool. Anz. **2** (1879); **3** (1880). — FRÖLICH, G., u. H. LÜTHGE: KÜHN Arch. **27** (1930). — GROSSER, O.: Frühentwicklung, Eihautbildung und Placentation des Menschen und der Säugetiere. München: J. F. Bergmann 1927. — GUGGISBERG, H.: Schweiz. med. Wschr. **1948**, 1254. — HAMMOND u. MARSHALL: Reproduction in the Rabbit. London: Oliver & Boyd 1925. — HAMMOND, G.: Reproduction in the Rabbit. Biol. Monographs and Manuels. Edinburgh 1925. — HAMMOND, J.: Vet. Rec. **6** (1926). — HANSSON, A.: The Physiology of reproduction in Mink (Mastela vison, Schreb.) Alb. Bonniers. Stockholm 1947. — HART, C.: Pflügers Arch. **196** (1922). — HARTMAN, C.: Studies in the reproduction of the monkey Macacus (Pithecus) rhesus, with special reference to Menstruation and Pregnation. Contributions to Embryology. 134, Washington Carne. Inst. Publ. No 433. 1932. — HEAPE, W.: Philos. Trans. Roy. Soc. London **188** (1900). — HECK, L.: Herren- oder Hochtiere. In Brehms Tierleben, Bd. 13. 1925. — HEDIGER, H.: Physiologia comparata et oecologia **1**, 46 (1948). — HEIM, K.: Zbl. Gynäk. **57**, 789 (1933). — HEINROTH, O. u. M.: Die Vögel Mitteleuropas, Bd. 1. Berlin: Hugo Bermüller 1926. — van HERWERDEN: Bydrage tot de kennis van menstrueelen cyklus en puerperium. Dr.-Arbeit. Utrecht 1906. — HETT, J.: Vergleichende Anatomie der Corpora lutea. In Handbuch der vergleichenden Anatomie der Wirbeltiere, Bd. 6. Berlin-Wien: Urban & Schwarzenberg 1933. — HILL, J. P., and CHAS. H. O'DONOGHUE: Quart. J. microsc. Sci. **59**, 133 (1913). — HILL, J. P., and TRIBE: Quart. J. microsc. Sci. **1924**. — HITSCHMANN u. ADLER: Mschr. Geburtsh. **27** (1908). — HOSEMANN, H.: Ärztl. Wschr. **1947**, 1025. — KEIBEL, F.: Verh. anat. Ges. **13**, 64 (1899). — KEMPER, W.: Med. Welt **17**, 423 (1943). — KLEBANOW, D.: Geburtsh. u. Frauenheilk. **8**, 812 (1948). — KNAUS, H.: Die periodische Fruchtbarkeit und Unfruchtbarkeit des Weibes. Wien: Wilhelm Maudrich 1934. — KORSCHELT, E.: Beitr. path. Anat. **63** (1917). — KÜPFER, M.: Der normale Turnus in der Aus- und Rückbildung gelber Körper an Ovarien des unträchtigen domestizierten Rindes (Bos taurus L.) nebst einigen Bemerkungen über das morphologische Verhalten der Corpora lutea bei trächtigen Tieren. Denkschrift der Schweizerischen Naturforschenden Ges., Bd. 56. 1920. — LEHMKUHL: Theologia moralis. 1886. — LINZENMEIER, G.: Zbl. Gynäk. **69**, H. 11 (1947). — LONG u. EVANS: Mem. univ. California **6** (1922). — LUFT, H. J.: Untersuchungen über die Ovarialfunktion von Gefangenen und Zuchthäuslern. Dr.-Arbeit Leipzig 1938. — MALLNER, F.: Fol. zool. hydrobiol. **2** (1931). — MANULKIN, A. E.: Zbl. Gynäk. **60**, 15 (1936). — MARTIUS, H.: Lehrbuch der Geburtshilfe, Bd. I. Leipzig: Georg Thieme 1943. — Dtsch. med. Wschr. **1946**, 81. — MAYER, A.: Würzburg. Abh. **27**, H. 2 (1932). — MEISENHEIMER, J.: Geschlecht und Geschlechter im Tierreiche. Jena: Gustav Fischer 1921. — MINGAZZINI, P.: Rich. fatte nel lab. Anat. norm. delle. R. Univ. Roma **3** (1893). — NOCHIMOWSKI, J.: Med. Klin. **1946**, Nr 16. — O'DONOGHUE, CHAS. H.: Quart. J. microsc. Sci. **31**, 433 (1916). — PINTO, C.: C. r. Soc. Biol. Paris **98**, H. 7 (1928). — PODLESCHKA, K., u. H. DWORZAK: Zbl. Gynäk. **57**, 2114 (1933). — PRELL, H.: Zool. Anz. **88**, 17 (1930). — ROULIN, R.: Erwähnt nach DARWIN 1878. — SCHÄFER, G.: Zbl. Gynäk. **71**, 969 (1949). — SCHMALTZ, R.: Das Geschlechtsleben der Haussäugetiere. Berlin: Richard Schoetz 1921. — SCHROEDER, R.: Der normale Menstruationszyklus. Berlin: August Hirschwald 1913. — SELENKA, E.: Studien über Entwicklungsgeschichte der Thiere, Bd. 4. Wiesbaden 1886. — SJÖVALL, A.: Acta obstetr. scand. (Stockh.) **18**, Suppl. 4 (1938). — SLÁMOVÁ, A.: Zbl. Gynäk. **59**, Nr 24 (1936). — SOBOTTA, J.: Anat. Anz. **10** (1895) u. a. a. O. — STIEVE, H.: Sitzgsber. Ges. Morph. u. Physiol. Münch. **29**, 63 (1913). — Arch. mikrosk. Anat., II. Abt. **92**, 187 (1918). — Arch. Entw.mechan. **44**, H. 3/4 (1918); **49** (1921); **52** (1922). — Z. mikrosk. anat. Forschg **1**, 191 (1924); **22**, 591 (1930); **36**, 481 (1934); **53**, 467 (1943); **55**, 416 (1950). — Zbl. Gynäk. **66**, 977 (1942); **67**, 866 (1943); **68**, 257 (1944). — Über Follikelreifung, Gelbkörperbildung und den Zeitpunkt der Befruchtung beim Menschen. Leipzig: Akademische Verlags-Gesellschaft 1943. — Med. Klin. **1946**, Nr 20. — Kieler Berichte 1949. — Anat. Anz. **97** (1949). — STOCKARD u. PAPANIKOLAU: Amer. J. Anat. **17** (1917). — STOECKEL, W.: Lehrbuch der Gynäkologie, 7. Aufl. Leipzig: S. Hirzel 1940. — TIETZE, K.: Arch. Gynäk. **167**, 253 (1938). — VITAL, ASA: Rev. español. Obstetr. **20** (1935). — WALDEYER, W.: Die Geschlechtszellen. In Handbuch der vergleichenden und experimentellen Entwicklungsgeschichte der Wirbeltiere. Bd. 1/1, S. 86. Jena: Gustav Fischer 1906. — WATZKA, M.: Z. mikrosk.-anat. Forschg **48**, 359 (1940). — WESTMAN, A.: Klin. Wschr. **1942**, 712. — Schweiz. med. Wschr. **1942**, 113. — ZIETZSCHMANN, O.: Lehrbuch der Entwicklungsgeschichte der Haustiere. Berlin: Richard Schoetz 1924.

Aus dem Anatomischen und Anatomisch-Biologischen Institut der Humboldt-Universität Berlin.

Eingegangen am 29. Juni 1949.

Berichte.

Die erste Ultraschalltagung in Erlangen vom 2. bis 4. Mai 1949.

A. Allgemeiner Teil.

Von GERHARD SCHMID, Stuttgart.

Der Ultraschall gleicht, wie es auf der Erlanger Tagung einmal in etwas anderem Sinne ausgesprochen wurde, einem Jüngling, der noch etwas unreif ist, aber auf einen guten Stammbaum hinweisen kann. Die Erwartungen, die man in ihn setzt, sind daher nicht gering.

Die Rückverfolgung des Stammbaums weist nach Frankreich, wo die Gebrüder CURIE im Jahre 1880 den piezoelektrischen Effekt entdeckten und schon ein Jahr später auch den umgekehrten piezoelektrischen Effekt nachweisen konnten, der dann die Grundlage zu dem ersten energiestarken Ultraschallsender wurde, den P. CURIES Schüler, P. LANGEVIN, im ersten Weltkrieg erfand. Die bereits hochentwickelte Elektroakustik und Hochfrequenztechnik, die als weitere Vorfahren zu nennen wären, taten das ihrige, um dem Ultraschall rasch die ersten Schritte ins praktische Leben zu ermöglichen. Schon im folgenden Jahrzehnt fand er in der Unterwasser-Schalltechnik als unentbehrliches Hilfsmittel Eingang in die Marine aller Länder. In dem Jahrzehnt vor dem zweiten Weltkrieg zeigte er dann seine vielfältigen Fähigkeiten als Forschungshilfsmittel in Physik, Chemie und Biologie, wobei sich manche weiteren technischen Anwendungsmöglichkeiten ergaben, und in jüngster Zeit vor allem nach dem letzten Krieg, ist er, noch immer in jugendlichem Sturmschritt, in die Medizin vorgedrungen.

Hier eilte nun in den letzten Jahren die praktische Anwendung der wissenschaftlichen Erkenntnis derart voraus, daß das Bedürfnis nach einer Aussprache unter den Fachleuten zur Klärung, Sicherung und Erweiterung der Erkenntnisse immer dringlicher wurde. Man hatte zuerst eine kräftige Durchblutung und Durchlymphung des menschlichen Gewebes nach erfolgter Beschallung beobachtet, die je nachdem als Erweiterung oder Lähmung der Kapillaren, Erhöhung der Zellpermeabilität oder Anregung des vasomotorischen Reflexsystems gedeutet wurde. Man sprach von „Mikromassage", „Tiefenmassage" oder „Zellmassage" der Ultraschallschwingungen, ohne jedoch etwas Bestimmtes über die Wirkungsweise aussagen zu können. Bald zeigten sich mehr und mehr eindeutige Heilerfolge, z. B. bei Neuralgien, Neuritiden und rheumatischen Erkrankungen (vor allem Ischias, Brachial- und Plexus-Neuralgie, Lumbago), bei Entzündungen der Arterien, der Brustdrüsen, der Prostata, der Lymphknoten, der Nebenhöhlen, der Gelenke und Wirbelgelenke, bei Verdickungen und Verhärtungen der Haut (Sklerodermie, Elephantiasis), bei Versteifungen und schmerzhaften Gelenkerkrankungen der Wirbelsäule und des Schultergürtels (Morbus Bechterew, Spondylosis deformans), bei Abszessen, Furunkeln, Ekzemen, schlechtheilenden Geschwüren (Ulcus cruris, Röntgenulkus), bei Bronchialasthma und Krampfzuständen, z. B. der Blase oder des Dickdarms und manchen anderen Krankheiten. Auch Krebsgeschwüre sind schon mit Erfolg angegangen worden; hier allerdings wurden manchmal auch sehr unerwünschte Wirkungen einer Metastasenaussaat oder einer Wachstumssteigerung der Primärgeschwulst beobachtet, so daß die Beschallung maligner Tumoren vorläufig als gefährlich betrachtet werden muß und mindestens bis zur besseren Erforschung der Vorgänge nicht in den Indikationsbereich des praktischen Arztes eingeschlossen werden darf. Allgemein treten bei Anwendung sehr hoher Ultraschallintensitäten Gewebszerstörungen und Organschädigungen auf. Diese sind jedoch leicht zu vermeiden, und man kann sagen, daß der Ultraschall bei sachgemäßer Anwendung der bereits erprobten therapeutischen Intensitäten (meist zwischen 1 und 5 W/cm²) und Aussparung besonders empfindlicher Organe in der Hand des Arztes eine im Vergleich zu den Röntgenstrahlen harmlose, dem biologischen Geschehen wohl auch nicht ganz so inadäquate Strahlenart ist. Abgesehen von Patienten mit Herzschäden, bei denen vor jeder Ultraschalltherapie gewarnt werden muß, haben selbst die anfänglich angewandten Überdosierungen kaum jemals zu ernsthaften Dauerschäden geführt. Über Spätschäden liegen naturgemäß noch keine Erfahrungen vor, doch sind sie kaum zu befürchten. Höchst unerfreulich bleibt es freilich, daß über den Wirkungsmechanismus noch so wenig bekannt ist, und das Bedürfnis nach genauerer Erforschung des biologischen Wirkungsmechanismus und der damit zusammenhängenden Dosierungsfragen, Fragen des Frequenzeinflusses usw. ist mit den zahlreichen Erfolgen der therapeutischen Anwendungen immer dringlicher geworden.

So kam die Anregung zu einer ersten allgemeinen Ultraschalltagung von medizinischer Seite (Prof. MATTHES und Prof. RECH, Erlangen), und der Tagungsort war die alte Hochburg medizinischer Strahlungsforschung: Erlangen. Etwa einen Monat vorher war in Wiesbaden eine rein medizinische Ultraschalltagung vorausgegangen und auch für die Erlanger Tagung war die medizinische Blickrichtung natürlich von vornherein vorherrschend, die aber dank der Bemühungen der Veranstalter doch so sehr auf das Grundsätzliche eingestellt war, daß große Gebiete der physikalischen, chemischen und biologischen Grundlagenforschung mit in das Tagungsprogramm einbezogen waren. Erstmals saßen hier die Ultraschallfachleute der Physik, Chemie, Biologie, Medizin und Industrie zusammen, und gerade diese Zusammenarbeit erwies sich als besonders anregend. Der erste Tag war der Physik und Chemie gewidmet, der zweite der Biologie und der dritte der Medizin. Trotz der großen Einreiseschwierigkeiten waren zahlreiche Ultraschallforscher fast aller westeuropäischer Länder und auch aus der Ostzone Deutschlands erschienen, von denen C. FLORISSON, Paris, der ehemalige industrielle Mitarbeiter P. LANGEVINS besonders herzlich begrüßt wurde. Die in Zeitschriften nicht angekündigte, ursprünglich nur für einen kleinen Kreis geladener Gäste gedachte Arbeitstagung war ganz von selbst zu einem großen vermutlich zum ersten internationalen wissenschaftlichen Kongreß in Deutschland seit Kriegsende geworden. Wegen der in der Medizin besonders großen Gefahren einer sensationellen oder nicht genügend sachkundigen Berichterstattung waren die Vertreter der Tagespresse nicht zugelassen worden.

Der vorliegende allgemeine Teil des Tagungsberichts versucht, einen Überblick über die an den beiden ersten Tagen besprochenen Fragen der Physik, Chemie und Biologie zu vermitteln; im nachfolgenden medizinischen Teil wird U. HINTZELMANN, Wiesbaden, über die medizinischen Vorträge des dritten Tages berichten. Die Gliederung und Einteilung des vorliegenden allgemeinen Teils hält sich im Interesse der Kürze nicht an die Vortragsfolge der Tagung.

1. Fortschritte allgemeiner Art.

Über Fortschritte während und nach dem Krieg im Ausland gab L. BERGMANN, Wetzlar, einen gedrängten Überblick, von dem hier nur der vielleicht interessanteste Fortschritt in Amerika herausgegriffen sei, nämlich die Anwendung des in den Radargeräten mit so viel Erfolg angewandten Impulsmeßverfahrens auf die Ultraschalltechnik. Ultraschallimpulse von wenigen Mikrosekunden Dauer werden vom Ultraschallgeber an das Medium abgestrahlt und die Laufzeit bis zur Rückkunft des Echos entweder mit der BRAUNschen Röhre sichtbar bzw. meßbar oder durch Übertragung auf mechanische Vorrichtungen nutzbar gemacht. Dieses Verfahren wird heute zur Auffindung von feinsten Rissen und Fehlstellen in undurchsichtigen Werkstücken, die mit Röntgenstrahlen nicht prüfbar sind, in großem Maßstab am Fließband eingesetzt, gestattet aber auch die Schallgeschwindigkeit und -absorption in den verschiedensten Substanzen, vor allem Flüssigkeiten, sehr rasch und genau zu messen. Es wurden auf Grund solcher Messungen neue Zusammenhänge zwischen diesen Größen und der chemischen Konstitution der Substanzen aufgedeckt. Auf der Grundlage dieses Verfahrens wurde ferner ein Blindenleitgerät entwickelt. Der Blinde trägt das kleine Gerät in der Hand und fühlt mit dem Daumen an einer Taste, wie weit entfernt er sich von einem echobildenden Hindernis befindet, wobei die Empfindlichkeit so weit getrieben wurde, daß

selbst ein dickerer Bindfaden in 75 cm Entfernung noch erkannt werden kann.

Man gibt hier dem Blinden ein Orientierungsmittel in die Hand, dessen Prinzip von der Fledermaus bei ihren Blindflügen in viel vollkommenerer Weise verwendet wird. F. SCHALLER, Mainz, berichtete an Stelle des verhinderten S. DIJKGRAAF, Utrecht, über neue und entscheidende Versuche mit Fledermäusen, die zur endgültigen Aufklärung des „sechsten Sinnes" dieser Tiere geführt haben. Die Fledermäuse stoßen zwischen 10 und 170 Ultraschallimpulse in der Sekunde von etwa 30 bis 80 kHz Frequenz und einigen Millisekunden Dauer aus, an deren Echo sie sich orientieren. Aber nicht nur die Fledermäuse, sondern auch ihre Beutetiere, die Nachtschmetterlinge, reagieren, wie C. TIMM und F. SCHALLER beobachtet haben, auf Ultraschallsignale desselben Frequenzbereichs und antworten darauf mit Flucht oder Totstellreflex. Für den Menschen liegt ja die Hörbarkeitsgrenze bereits bei 15 bis 20 kHz, aber auch dies gilt offenbar nur mit der Einschränkung, daß der Schall über die Luft und das Ohr vermittelt wird. W. KUNZE, Bremen, berichtete nämlich über Beobachtungen, bei denen Ultraschall bis 175 kHz von am Kopf oder in Kopfnähe aufgesetzten Ultraschallschwingern offenbar über Knochenleitung als spitzer Ton, meist ohne Empfindung von Tonhöheunterschieden, als eine Art Ohrenklingen, das aber anscheinend mit dem Ohr nichts zu tun hat, von den meisten Versuchspersonen wahrgenommen wird.

Einen enormen Fortschritt in der Ultraschallerzeugung in Luft erzielten die Amerikaner während des Krieges mit ihrer Ultraschallsirene, über die L. BERGMANN, Wetzlar, ebenfalls kurz berichtete. Mit ihr können Schalleistungen bis zu 35 kW in die Luft abgestrahlt werden. Ein in die Nähe gebrachter Wattebausch erwärmt sich durch Schallabsorption derart, daß er in Flammen aufgeht, und man holt sich, wenn man die Hand zu nahe an die arbeitende Sirene heranbringt, Verbrennungen zwischen den Fingern. Auch Kleinlebewesen, Fliegen usw. werden in weitem Umkreis von der intensiven Ultraschallstrahlung getötet. Wichtiger ist, daß mit dieser Sirene nunmehr das in Deutschland schon vor etwa 12 Jahren vorgeschlagene Verfahren der Entstaubung von Industriegasen und Niederschlagung von Nebeln im großtechnischen Maßstab durchführbar geworden ist. Über die Beseitigung von Bodennebeln auf Flugplätzen ist ja in der Presse schon vielfach berichtet worden, aber es sind auch Anlagen gebaut worden, die 2000 m³ Industriegase in der Minute zu entstauben gestatteten.

2. *Geräte und Applikation.*

Einen breiten Raum nahm sodann die Diskussion der medizinischen Ultraschallgeräte und der Applikationsverfahren ein. Folgende Firmen hatten ihre Ultraschallgeräte samt Zubehör in einer Sonderschau ausgestellt:

Atlas-Werke, Bremen;
Eswig, Schleswig;
Evertz, München;
Lehfeldt & Co., Marquardstein;
Scillo, Hamburg;
Siemens-Reiniger-Werke AG., Erlangen;
Steeg & Reuter, Bad Homburg v. d. H.;
Ultrakust, G. m. b. H., Ruhmannsfelden Ndb.;
Ultraschallgerätebau, Dr. Born & Co., Frankfurt a. M.

Als erster berichtete C. FLORISSON, Paris, über die neuesten Ultraschallgeräte für industrielle, medizinische, biologische und chemische Zwecke, die in seiner Ultraschallabteilung der Société de Condensation et d'Applications Mécaniques in Paris entwickelt worden sind, nachdem diese vorher allzulange mit Aufgaben der Unterseepeilung und Nachrichtentechnik voll beschäftigt gewesen war. A. ZOBEL, Bad Homburg v. d. H., berichtete über die Physik und Technik der Ultraschallquarze, F. THIEDE, Bremen über die Anwendung magnetostriktiver Schwinger in der Therapie, J. PÄTZOLD, Erlangen, über technische Hilfsmittel zur Applikation von Ultraschall, also über Ultraschallinsen aus Kunststoffen, metallische Spiegel und Hohlspiegel, verschieden geformte, z. B. konische Metalltuben, Stabvorsätze zur Einbringung des Ultraschalls in Körperhöhlen oder zur Zahnbehandlung usw. Man kann heute, wie diese Vorträge zeigten, Ultraschall der in der Therapie eingebürgerten Frequenzen (zwischen 175 kHz und 3000 kHz, meist etwa 1000 kHz) nicht nur bequem herstellen, sondern auch in einer bestimmten Körpertiefe, z. B. 5 cm unter der Haut, zu einem Brennfleck sammeln, hinter dem die Schallstrahlen rasch wieder divergieren, so daß sich die Hauptwirkung auf eine bestimmte Tiefenzone lokalisieren läßt.

Freilich die Frage der richtigen *Dosierung* bei therapeutischen Anwendungen ist zum Teil noch nicht einmal in den Grundlagen geklärt. Im allgemeinen wird mit Intensitäten zwischen 0,1 und 5 W/cm² gearbeitet, wobei die Intensität mit der Schallwaage über den Strahlungsdruck bequem, wenn auch nicht sehr genau meßbar ist. Dagegen ist noch nicht einmal klar, worauf K. v. SANDEN, Erlangen, vor allem hinwies, was man unter Dosis zu verstehen hat. Das Produkt aus Intensität und Beschallungsdauer ist dafür höchstens in gewissen Grenzen anwendbar. Komplizierend kommt noch hinzu, daß sich in Quarznähe das sog. Interferenzfeld, eine mehrere Zentimeter tiefe Zone höchst ungleichmäßiger Intensitätsverteilung ausbildet, was ja bekanntlich nach einer optischen Methode von E. HIEDEMANN und K. OSTERHAMMEL schon vor 11 Jahren in sehr schönen Bildern des Amplitudenfeldes sichtbar gemacht worden ist. Erst in größerer Entfernung vom Quarz wird das Schallfeld gleichmäßig. So kann es, wie H. BORN, Frankfurt a. M., ausführte, vorkommen, daß an einzelnen Stellen in größerer Körpertiefe auch ohne Fokusierung höhere Intensitäten wirksam werden, als an anderen, dem Ultraschallsender (in der Medizin meist Schallkopf genannt) näher gelegenen. Man gleicht diese Ungleichmäßigkeiten, wo es angängig ist, dadurch einigermaßen aus, daß man den Schallkopf streichend auf der Körperoberfläche hin und her bewegt; oder man verwendet eine schallübertragende Zwischenschicht (Wasser, Badewanne), die das ungleichmäßige Nahfeld aufnimmt. K. THEURER, Stuttgart, empfahl an Stelle der Badewanne aufgeschnallte, wassergefüllte Gummipelotten, die sich den Körperformen schön anschmiegen, zu verwenden.

Man ersieht hieraus, daß es im allgemeinen nicht genügt, wenn man bei Publikationen über Ultraschallversuche, die für Vergleichszwecke wertvoll sein sollen, nur eine Zahlenangabe über Intensität, Dauer und Frequenz macht, sondern es sind dazu auch Angaben über die Intensitätsverteilung, Größe der schallabstrahlenden Fläche, Linsen, Spiegel, Tuben, Pelotten usw. erforderlich. Aber nicht nur bei der Applikation am menschlichen Körper, vielmehr schon bei der Beschallung von Flüssigkeiten im Glasgefäß sind bei fast allen bisherigen Versuchen exakte Angaben über die Schallfeldgrößen wegen der Primitivität der Beschallungsanordnungen unmöglich. A. GIACOMINI, Rom, entwickelte daher eine verhältnismäßig einfache Anordnung, bei der die Schallfeldgrößen einer beschallten Flüssigkeit besser definiert sind. Die Flüssigkeitszelle wird durch zwei einander gegenüberliegende, auf ganzzahlige Vielfache der halben Wellenlänge genau abgestimmte Zelluloid- oder Aluminiumplatten abgeschlossen. Der Schallstrahl durchsetzt dann die beiden Platten samt der dazwischen liegenden Flüssigkeitsschicht fast ohne Reflexion und wird nach dem Durchgang von einer Glaswolleschicht absorbiert, so daß nirgends stehende Wellen auftreten können.

Lebhaft diskutiert wurde ferner die Frage des *Frequenzeinflusses* bei therapeutischen Anwendungen. Die bisherigen klinischen Erfahrungen reichen offenbar bei den meisten Krankheiten nicht aus, ein Optimum der Frequenz anzugeben; in vielen Fällen ist ein Frequenzeinfluß überhaupt nicht zu bemerken. Grundsätzlich kann man nur sagen, daß die Absorption im Körper mit wachsender Frequenz zunimmt. Daher rührt auch die verhältnismäßig geringe Eindringtiefe piezoelektrisch erzeugten Ultraschalls mit einer Frequenz von meist etwa 1000 kHz. Dem Vorteil der größeren Eindringtiefe magnetostriktiv erzeugten Ultraschalls mit einer üblichen Frequenz von nur 175 kHz wurde allerdings der Nachteil der geringeren Bündelungsfähigkeit bzw. Lenkbarkeit der Schallstrahlen entgegengehalten, sowie das Bedenken, daß ein weniger absorbierter Strahl möglicherweise, wie bei den Röntgenstrahlen, auch geringere Wirkungen hervorruft. Da allerdings über den

Wirkungsmechanismus des Ultraschalls im menschlichen Körper einstweilen noch so gut wie nichts Sicheres bekannt ist, so haben alle theoretischen Erwägungen über die Bedeutung der Frequenz und der Dosierung vorläufig kein allzugroßes Gewicht.

3. *Wirkungsmechanismus.*

Die Ansichten über den Wirkungsmechanismus gehen noch vollkommen auseinander. Die Diskussion kreiste vor allem um die Frage, ob die therapeutischen Wirkungen des Ultraschalls durch eine Art Mikromassage oder durch die sekundäre Wärmeentwicklung oder durch Kavitation oder durch die bei der Kavitation entstehenden angeregten Molekeln oder durch einen direkten, mechanisch-chemischen Abbau der Eiweißsubstanzen oder anderer Makromolekeln bedingt ist. Hier wirkte nun die voraneilende Praxis sehr anregend auf die Grundlagenforschung zurück, die sich in Modellversuchen bemüht, hinter das Geheimnis der mannigfaltigen und schon in der toten Materie nicht immer leicht verständlichen Ultraschallwirkungen zu kommen. Die Diskussionen zur Aufklärung des Wirkungsmechanismus der Ultraschallbestrahlungen waren daher sehr lebhaft und vielfältig, so daß hier nur recht lückenhaft berichtet werden kann.

Zunächst trug G. Schmid, Stuttgart, zusammenfassend über seine Versuche des Abbaus von linearen Makromolekeln mit Ultraschall vor. Diese werden von intensivem Ultraschall, unabhängig von ihrem Ausgangsmolekulargewicht, bis auf einen Polymerisationsgrad von ungefähr 300 abgebaut. Auf Grund der Abhängigkeiten dieses Abbaus von Konzentration, Druck, Temperatur Viskosität und Dichte des Lösungsmittels, Beschallungsdauer und Frequenz kommt der Vortragende zur Deutung eines Zerreibens der Makromolekeln durch Relativbewegungen zwischen diesen und dem Lösungsmittel. R. Pohlmann, Zürich, versuchte diese Anschauung auch auf die mit Ultraschall behandelten Gewebe zu übertragen und zeigte zur Illustration sehr schöne elektronenmikroskopische Aufnahmen beschallter Fibrillen der Rindersehne, an denen die Aufweitung der Faser durch den Ultraschall zu einem dem makromolekularen Gelgerüst ähnelnden Gestrüpp zu sehen war, das dann wie dort an einzelnen Stellen reißt.

Außerordentlich lebhaft wurde in diesem und in anderen Zusammenhängen die Frage des Einflusses der Kavitation, also jener bekannten Hohlraumbildung, die bei vorübergehendem Unterdruck in Flüssigkeiten nicht nur im Ultraschallfeld, sondern z. B. auch an Düsen oder Turbinen auftritt und eine im wesentlichen durch das Wiederzusammenstürzen der Hohlräume bedingte stark zerstörende, z. B. die Turbinenschaufeln unangenehm korrodierende mechanische Wirkung entfaltet. Im Ultraschallfeld entstehen diese winzigen, rasch wieder zusammenklatschenden Hohlräume durch den raschen Wechsel zwischen Unterdrucken von etwa 5 Atm. und ebensolchen Überdrucken, den die intensive Ultraschallwelle darstellt. Bei Vorhandensein gelöster Gase entstehen winzige, aber gut sichtbare Gasbläschen, die im Wechseldruck der Schallwellen anharmonische Radialschwingungen ausführen. In diesen schwingenden Bläschen können durch Resonanz nach älteren und neueren Berechnungen, über die H. Keller, Hamburg, zusammenfassend berichtete, kurzzeitig Drucke von mehreren 1000 Atm., adiabatische Erwärmungen um mehrere 100° und abnorm große Relativbewegungen der materiellen Teilchen auftreten, die aber natürlich wegen der Kleinheit der Bläschen nicht meßbar sind. Vielleicht ist in diesen Erscheinungen eine Erklärung der dispergierenden Wirkungen des Ultraschalls zu sehen. Der Vortragende zeigte Diagramme der Frequenzabhängigkeit von Blasengröße und Schwellenintensität der Kavitation nach theoretischen Rechnungen und schlug vor, an Stelle der Unterscheidung zwischen „echter" nur in entgaster Flüssigkeit auftretender und „unechter" gashaltiger Kavitation besser von „heftiger" und „milder" Kavitation zu sprechen, da die beiden Erscheinungen prinzipiell gleichartig verlaufen und stetig ineinander übergehen. Auch R. Pohlmann, Zürich, stellte grundlegende theoretische Erwägungen zum Zustandekommen der Kavitation an und begründete ihre starke Schallabsorption. Er unterschied in fibrillärem Gewebe noch eine dritte Art von Kavitation, nämlich eine „zweidimensionale" die viel milder verläuft, als die normale, dreidimensionale.

An den Gasbläschen der Kavitation in gashaltigem Wasser beobachteten H. Frenzel und H. Schultes schon 1935 im Dunkeln eine ganz schwache Lumineszenz, die zweifellos auf eine elektrische Entladung in den Bläschen zurückzuführen ist. Wie sich dort allerdings elektrische Ladungen aufbauen, ist noch nicht geklärt und die Deutungsmöglichkeiten (vgl. Gewitter- oder Wasserfallelektrizität, statistische Unordnung der Ladungen beim Aufreißen der Bläschen usw.) wurden lebhaft erörtert.

Die elektrischen Entladungen geben wohl auch die Erklärung für die schon lange beobachteten Gasaktivierungen. So vermag in Wasser gelöster Luftsauerstoff im Ultraschallfeld beim Auftreten von Kavitation eine Reihe von Oxydationen zu bewirken, zu denen er im normalen Zustand nicht in der Lage ist. Beispielsweise bilden sich gut nachweisbare Mengen von Wasserstoffperoxyd. P. Grabar und R. Prudhomme berichteten über eine Reihe neuer ultraschallchemischer Reaktionen, von denen hier nur die Beobachtung herausgegriffen werden mag, daß aromatische Verbindungen in verdünnter, gashaltiger, wäßriger Lösung (z. B. 0,001 n-Phenylalanin) die charakteristische Absorptionsbande bei 2800 Å durch die Ultraschallkavitation verlieren und in Oxydationsprodukte übergehen. Das Überraschende ist nun aber, daß zu all diesen phonochemischen Oxydationen gar kein Sauerstoff notwendig ist, sondern daß sie ebenso gut, ja manchmal besser mit indifferenten Gasen, z. B. Argon oder Stickstoff vor sich gehen. Freilich bestimmte Gase müssen vorhanden sein; in völlig entgasten Lösungen wurden weder Oxydationen noch Hämolyse, noch Abbau von Makromolekeln beobachtet. Auch wirkten andere Gase wie CO_2 oder SO_2 sowie leicht flüchtige Substanzen (Äther, Azeton) nicht in gleicher Weise. Die Versuche wurden ohne Kenntnis ganz ähnlicher Beobachtungen von P. Günther, Karlsruhe, durchgeführt, über die dieser bereits Ende 1947 in einem Dahlemer Kolloquium vorgetragen hat, und bestätigen diese bestens. Auch kamen die Autoren zur gleichen Deutung, daß nämlich die Gasmolekeln durch die elektrischen Entladungen in einen angeregten Zustand versetzt werden und primär aus dem Wasser OH-Radikale in Freiheit setzen, die dann die weiteren Oxydationswirkungen besorgen. Der dabei ebenfalls freiwerdende Wasserstoff konnte tatsächlich in der Gasphase nachgewiesen werden, wie auch eine Bildung von Schwefelwasserstoff aus Schwefelkohlenstoff und Wasser im Ultraschallfeld aufgefunden werden konnte, die auf das Auftreten naszierenden Wasserstoffs eindeutig hinweist.

Die Autoren wurden durch die Beobachtungen zu dem Schluß geführt, daß alle phonochemischen Wirkungen, einschließlich der Depolymerisation von Makromolekeln, die nach ihren Mitteilungen bei völliger Abwesenheit von Gasen ebenfalls ausbleiben, ebenso wie auch die Hämolyse auf diese Radikalbildung bei der Kavitation als Primärursache zurückzuführen sind. Dieser Auffassung wurde entgegengehalten, daß G. Schmid und O. Rommel bei 15 Atm. Überdruck, wo das Auftreten einer Kavitation nicht mehr angenommen werden kann, allerdings bei Gegenwart gelöster Gase, immer noch sehr starke Depolymerisationen beobachtet haben. Auch berichtete E. Breuning, Ruhmannsfelden, über neue Beobachtungen der Bildung von salpetriger Säure durch Beschallung lufthaltigen Wassers, die mit m-Phenylendiamin außerordentlich empfindlich nachgewiesen und kolorimetrisch gemessen werden kann. Die gebildete Menge salpetriger Säure erwies sich der Beschallungsintensität und -dauer proportional, und es konnte bis zu sehr kleinen Intensitäten (0,1 W/cm²) herab, bei denen ebenfalls Kavitation nicht mehr angenommen werden kann, ein Nachlassen der Wirkung oder ein Schwellenwert der Proportionalität nicht festgestellt werden. Aber auch hierbei war die Anwesenheit von gelösten Gasen unerläßlich.

Sehr aufschlußreich waren eine Reihe von Beobachtungen an Suspensionen und kolloiden Lösungen, über die der um die Erforschung der biologischen Ultraschallwirkungen besonders verdiente Forscher A. Dognon, Paris, gemeinsam mit Y. Simonot, Paris, berichtete. Sie fanden in Suspensionen von Bierhefe, Schwefel-

blumen, Paraffinöl, Erythrozyten bei höheren Teilchenkonzentrationen oberhalb eines kritischen Wertes von etwa 1:20, bei Erythrozyten sogar 1:50, ein plötzliches Aussetzen der Kavitation, der Hämolyse und einer chemischen Farbreaktion (Oxydation von Leukomethylenblau) trotz Anwendung großer Schallintensitäten. Andererseits konnten sie durch eine sehr hübsche und originelle Versuchstechnik, die hier aus Platzmangel leider nicht beschrieben werden kann, einwandfrei eine selektive Erwärmung der suspendierten Teilchen nachweisen, die im intensiven Ultraschallfeld etwa 10° wärmer sind, als das umgebende Medium. Das Ausbleiben der Kavitation und ihrer Folgeerscheinungen oberhalb einer kritischen Grenzkonzentration wird von den Autoren auf den starken Energieverzehr der sich selektiv erwärmenden Teilchen zurückgeführt. Wie GRABAR und PRUDHOMME kommen auch DOGNON und SIMONOT zu der Auffassung, daß alle chemischen und lytischen Wirkungen des Ultraschalls auf Kavitation bei Gegenwart von Gasen zurückzuführen seien. Besonders ausgeprägt scheint das stets *gleichzeitige* Auftreten von Kavitation und Hämolyse beobachtet worden zu sein.

Andererseits hat F. WACHSMANN, Erlangen, eine *räumliche* Trennung von Kavitation und Hämolyse beobachten können. Er ging bei seinen Beobachtungen von dem Gedanken aus, daß ja im stehenden Wellenfeld die Stellen maximaler Druckwirkungen von den Stellen maximaler Bewegungs- und Reibungswirkungen räumlich getrennt sind (Druckbäuche = Bewegungsknoten, Bewegungsbäuche = Druckknoten). Seine Beobachtungen im stehenden Wellenfeld ergaben, daß die Kavitationsbläschen ebenso wie die Emulgierung von Öl in Wasser in den Druckbäuchen entstehen, die Hämolyse dagegen und ebenso gewisse Veränderungen in der Erbsenwurzel in den Bewegungsbäuchen. Die in den Druckbäuchen entstehenden Kavitationsbläschen werden dann allerdings nach ihrer Entstehung in die Schwingungsbäuche hineingetrieben.

Selektive Erwärmungen treten übrigens nicht nur bei suspendierten Teilchen, sondern auch an makroskopischen Phasengrenzflächen auf. H. RINDFLEISCH, Göttingen, berichtete über Versuche mit Agar-Agargelen, die in ein langes, auf der einen Seite mit dem Schallkopf abgeschlossenes Glasrohr eingegossen und mit Thermoelementen an verschiedenen Stellen versehen waren. Bei Beschallung zeigte sich eine stark bevorzugte Erwärmung der Gallerte in der Nähe der Rohrwandungen. Ebenso erwärmt sich bei Einbringung eines Knochenstücks in die Agar-Agarmasse vor allem die an die Knochen grenzende Schicht. Dieselbe Probe in das Hochfrequenzfeld eines Kurzwellengeräts gebracht, erwärmt sich demgegenüber durch und durch gleichmäßig. Hierin ist ein wichtiger Unterschied zwischen Ultraschall- und Diathermiebehandlung zu sehen.

Trotz dieser zweifellos vorhandenen selektiven Erwärmungen ist es, wie in Vorträgen und Diskussionen immer wieder hervorgehoben wurde, keineswegs so, daß sich nun alle therapeutischen Ultraschallwirkungen auf Erwärmungen zurückführen ließen. Spezifische Ultraschallwirkungen versucht man von Wärmewirkungen entweder dadurch zu unterscheiden, daß man die entstehende Schallwärme möglichst rasch durch gute Wärmeableitung abführt, oder dadurch, daß man nur relativ sehr kurz dauernde Schallimpulse alternierend mit relativ langen Pausen anwendet, so daß alle Erwärmungen Zeit haben sich laufend wieder auszugleichen. Beide Methoden sind jedoch nicht eindeutig. Der ersten Methode bediente sich J. LEHMANN, Frankfurt a. M., der an Mäuseschwänzen, die im Wasserbad bequem auf einer gut definierten Temperatur gehalten werden können, Parallelismus und Unterschiede zwischen Ultraschall- und Wärmewirkungen studierte. Die zweite Methode wurde dagegen bei intermittierenden Beschallungen des Rückenmarks narkotisierter Ratten beschritten, mit dem Ergebnis, daß die Lähmungserscheinungen um so geringer waren, je länger die Zeit zwischen zwei kurzen Schallimpulsen gewählt wurde (Wärmewirkung), während andererseits die Heilwirkung auf Karzinome unverändert blieb (spezifische Ultraschallwirkung). Trotzdem kam G. PETERS, Bonn, nach ausgedehnten histologischen Untersuchungen und Lähmungsbeobachtungen zu der Auffassung, daß auch im Nervengewebe des Rückenmarks der Ratte eine mechanische Wirkung bzw. Störung des labilen Sol-Gelzustandes nach Art der Beeinflussung thixotroper Gele durch Ultraschall eine größere Rolle spiele, als die reine Wärmewirkung.

Auch die naheliegende Deutung des oft beobachteten Eintreibeffekts von Medikamenten durch die Haut mit Hilfe von Ultraschall als einer Diffusionsbeschleunigung scheint näherer Prüfung nicht standzuhalten. K. H. WUTTGE, München, konnte jedenfalls in sorgfältigen Dialyseversuchen mit künstlichen und natürlichen Membranen keine Diffusions- oder Dialysebeschleunigung bzw. Widerstandsänderung der Membran durch Ultraschall feststellen. Der Eintreibeffekt wird daher von ihm auf eine Gefügelockerung bzw. auf kleine Verletzungen der Haut zurückgeführt.

4. *Biologische Versuche.*

Die Vielfältigkeit der biologischen Versuche, über die vorgetragen wurde, erlaubt es nicht, über die Ergebnisse im einzelnen zu berichten; es kann nur die Marschrichtung mit einigen Stichworten angedeutet werden. Die schon eingangs erwähnten Erscheinungen der Auflockerung des Gewebes, der Gefäßerweiterung, der Vakuolenbildung, des Zellkernzerfalls und der Zelldegeneration wurden im Tierversuch verschiedentlich näher untersucht. So berichtete G. PETERS, Bonn, über Änderungen der Markscheide und Nervenzellen des zentralen und peripheren Nervensystems der Ratte; W. SCHMITZ, Bonn, beobachtete die Aktionsströme und Reizleitungsgeschwindigkeit an beschallten Froschnerven; S. KÖPPEN, Wolfsburg, sowie J. HORVATH und K. LENNERT, Erlangen, beobachteten die Veränderungen an der beschallten Milz und Leber von Kaninchen, Hunden und Mäusen; E. GÜNSEL, Würzburg, beschallte Rattenhoden und führte die dort beobachteten Schädigungen in erster Linie auf Wärmewirkung zurück; J. HORVATH und L. RUPP, Erlangen, fanden bei der Beschallung des Ovars von Ratten Degenerationserscheinungen an den Follikeln und ein Steigen des Hormonspiegels wahrscheinlich durch Zerstörung hormongeladener Zellen; K. H. WÖBER, Bonn, führte Versuche über die Entwicklung des Keimgewebes (erste Furchung, Gastrula und Neurula) des Frosches nach Beschallung durch und zeigte, daß in den früheren Entwicklungsstadien stärkere Schädigungen auftreten, als in den späteren. Eine große Anzahl histologischer Bilder der Veränderungen an Knochen und Sehnen führten V. BUCHTALA, Würzburg und G. MAYNO, Genf, im Lichtbild vor, während G. BARTH, Erlangen, besonders auf die knochenzerstörende Wirkung des Ultraschalls bei Überdosierungen hinwies. K. STUHLFAUT, München, berichtete über Veränderungen des p_H-Wertes, der Serumproteine, der Senkungsreaktion und des Fibrinogengehalts bei in vivo und in vitro beschalltem menschlichem Blut. Einige serologische Reaktionen (WASSERMANN, MEINICKE, KAHN) waren Gegenstand der Ultraschallversuche von J. ZINZIUS und K. H. WÖBER, Bonn. Zur Frage der Behandlung maligner Tumoren legte Frau Prof. J. HAUSSER, Heidelberg, ein sehr großes Versuchsmaterial von Beschallungen des JENSEN-Sarkoms der Ratte vor, aus dem die heilende Wirkung mit aller Deutlichkeit hervorging, wobei aber natürlich zu bedenken bleibt, daß Impfsarkome von Ratten mit spontanen Tumoren beim Menschen nicht ohne weiteres verglichen werden können.

Weiter wurde eine Reihe neuer Versuche über die an sich schon lange bekannte bakterizide Wirkung des Ultraschalls vorgelegt. H. HOMPESCH, Dortmund, konnte z. B. durch vergleichende Stickstoffanalysen im Filtrat und Rückstand von Kolibakteriensuspensionen Veränderungen der Permeabilität bzw. Kolloidstruktur der Zelloberfläche durch Beschallung feststellen, die nicht als grob mechanische Membranverletzungen oder als chemische Wirkung über die H_2O_2-Bildung gedeutet werden konnten, sondern wahrscheinlich auf eine unmittelbare Depolymerisation von Eiweißkörpern nach dem von SCHMID geschilderten Mechanismus zurückzuführen ist. Sehr eindrucksvolle elektronenmikroskopische Bilder von in vitro beschallten Tuberkelbakterien zeigten G. VELTMANN und K. H. WÖBER, Bonn, an denen klar zu sehen war, daß bei der mechanischen Zerstörung der Bakterien durch stärkeren Ultraschall zwei verschiedene Vorgänge nebeneinander hergehen, nämlich ein Zerbrechen der

Bakterien als ganzes und ein Aufreißen der Zellmembran mit nachfolgendem Ausfließen des Protoplasmas. Bei Beschallung der Bakterien im Gewebe konnte dagegen keine Zerstörung gefunden werden. Es wurde angenommen, daß die Kavitation, die im Gewebe nicht recht aufkommen kann, die eigentliche Verursacherin dieser gröberen Zerstörungen ist. Demgegenüber teilte H. BAYHA, Borstel (Schleswig), mit, daß nach seinen Beobachtungen Bakterien ganz allgemein um so leichter zerstört werden, je weniger kugelig bzw. je mehr fadenförmig sie sind. Diese Beobachtung ist nach dem Kavitationsmechanismus kaum zu erklären und spricht wieder mehr für eine Zerreibung wie bei den Makromolekeln. Auch die schon 1941 von KAUSCHE, PFANNKUCH und RUSKA elektronenoptisch einwandfrei demonstrierte Fragmentierung des fadenförmigen Tabak-Mosaikvirus weist in diese Richtung.

In neuerer Zeit werden Bakterien und Viren vielfach beschallt, um ihnen Wirkstoffe und Toxine für medizinische Zwecke zu entziehen. Hier scheinen nach einem Vortrag von F. KRESS, Wien, nicht geringe Aussichten zu bestehen, Schutzimpfstoffe gegen Tuberkulose und vielleicht auch gegen Krebs gewinnen zu können durch geeignete Behandlung von Tuberkelkeimen oder Karzinombrei mit Ultraschall. Ein voller Erfolg konnte bei Brucella-Abortus erzielt werden, wo die Brucella-Keime durch Ultraschall so beeinflußt werden konnten, daß sie noch lebten, ihre Abortus-Wirkung aber verloren hatten, und sich so zur Herstellung von Vakzinen höchsten immunogenen Werts eigneten. Auch bei Tuberkelkeimen sind bereits vielversprechende Versuche durchgeführt worden.

5. Ultraschalldiagnose.

Schließlich wäre noch die Frage zu behandeln, ob die Ultraschallstrahlen, ähnlich wie die Röntgenstrahlen neben ihrer therapeutischen Bedeutung auch zur Diagnose herangezogen werden können. Bis jetzt sind erst die allerersten Schritte in dieser Richtung gemacht. Während in der toten Materie bei der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung der Ultraschall heute bereits die Röntgenstrahlen in glücklichster Weise ergänzt, ist eine Durchschallung des menschlichen Körpers zu diagnostischen Zwecken erst in wenigen Fällen versucht worden. R. V. BAUD von der Materialprüfungsanstalt in *Zürich* gab einen allgemeinen Überblick über die recht verschiedenartigen heute verwendeten Ultraschallverfahren zur zerstörungsfreien Werkstoffprüfung. W. KEIDEL, Erlangen, berichtete über Versuche, die Tätigkeit des Herzens an einem die Brust durchsetzenden Ultraschallstrahl zu verfolgen. Durch die niederfrequente Herzfüllungsänderung wird der Ultraschall als Trägerwelle moduliert und diese Modulation wird nach piezoelektrischem Empfang auf der anderen Seite der Brust mit einem EKG-Verstärker beobachtbar gemacht. Eine sehr originelle Methode der Erzeugung eines photographischen Schallschattenbildes des Gehirns wurde von K. DUSSIK, Bad Ischl, entwickelt, die die Röntgendiagnose in glücklicher Weise ergänzt. Ein Gehirntumor z. B. kann im Röntgenbild nicht ohne besondere, für den Patienten unangenehme Maßnahmen erkannt werden, da die Kontrastwirkung der Röntgenbilder auf Unterschieden im Atomgewicht der durchstrahlten Materie beruht. Die Kontrastwirkung des Ultraschallstrahls dagegen beruht in erster Linie auf Viskositätsunterschieden, weshalb im Ultraschallbild Lage, Form und Größe der Ventrikel ebenso wie pathologische Veränderungen, Tumoren, Hirnnarben, Ödeme gesehen werden können, von denen im Röntgenbild nichts zu sehen ist.

Etwas indirekter verwendete C. V. CORONINI, Wien, (vorgetragen von KRESS, Wien), den Ultraschall als Hilfsmittel in der histologischen Diagnostik, indem er die Versilberung des Nervengewebes, die man zwecks besserer mikroskopischer Sichtbarmachung anwendet, mit Ultraschall wirksam unterstützte, so daß sehr dünne Schnitte ausgeführt werden konnten. Die Silbernitratlösung dringt unter Ultraschalleinwirkung besser und gleichmäßiger in das Gewebe und die kolloiden Silberlösungen können feiner dispergiert werden. Die Methodik scheint sehr einfach und mit ungeschultem Personal durchführbar zu sein.

B. Medizinischer Teil.

Von ULRICH HINTZELMANN, Wiesbaden.

26 Vorträge waren für den dritten Tag, die Klinik des Ultraschalls, vorgesehen, 22 davon wurden gehalten.

DÉNIER, La Tour du Pin-Isère, brachte einen umfassenden Überblick der Indikationsmöglichkeiten. Er ging von einer anfänglichen Leistung seines Schallgebers von 30 auf 7 W herunter, da die Haut nur etwa 6 W bei 960 kHz verträgt. Diese praktische Erfahrung DÉNIERS ist von besonderer Bedeutung und sollte von allzu heroischen Dosierungen abhalten! Man kann entweder die schmerzende Stelle direkt behandeln oder auf dem Umwege mittels Reflex oder sympathischer Wirkung arbeiten, indem man die entsprechende Wirbelzone, das sympathische Ganglion oder die in Mitleidenschaft gezogene Arterie beschallt. Die Ultraschallwellen wirken auf den Schmerz, die Muskelfasern und das vasomotorische Reflexsystem. Die Ultraschallwellenbehandlung wirkt auch da, wo entzündungswidrige Strahlen, Elektrotherapie oder medikamentöse Ionisation versagen. Als Wirkungsfaktor ist in erster Linie die Mikromassage anzusehen. Die Schwingungen breiten sich entlang der Knochen bis weit vom Applikationsort aus. Außerdem zeigt sich eine mechanische fibrolysierende Wirkung auf induriertes skleröses Gewebe, Erweiterung der Hautkapillaren, Veränderung der Zellpermeabilität und anderes mehr. Erfolgversprechend können behandelt werden: Neuralgien verschiedenster Art und Genese, subakute Arthritiden und Spondylarthritiden, Arthrosen (hier zum Teil in Kombination mit Ionisation und Strahlentherapie), Hypodermien und Pachydermien, Nasennebenhöhlenerkrankungen, Spasmen der Blase und des Kolons, vegetative Kreislaufstörungen (hier in Konkurrenz zur Infiltration des Sympathikus), Asthma bronchiale (7. Halswirbel und Ganglion stellatum werden beschallt), Arteriitis obliterans, Elephantiasis, Sklerodermie und Kausalgie. Entsprechend der Theorie von KOURILSKY führt der Ultraschall zu einer Entladung der dienzephalen Zentren, deren elektrische Ladungen die Norm überschreiten. Periodische Krisen wie Dysmenorrhöen, Mittelschmerz und Gefäßkrisen (Migräne) lassen sich demnach unterdrücken durch einige Ultraschallapplikationen auf den Nasen-Stirnwinkel und auf den Hinterhauptshöcker. Gehirnerkrankungen gehören in das Indikationsgebiet: Allgemeine Paralyse (unter gleichzeitiger Bestrahlung des Nackens mit 150 r) und durch Embolie bedingte Halbseitenlähmungen. Es zeigte sich hier also ein aktives Einwirken auf die zerebrale Vasomotorik. Ultraschall läßt sich auch an Stelle des Elektroschocks bei Psychasthenie und psychogen bedingter Impotenz anwenden (Auslösung von Mikroschocks). Die präfrontale Lobektomie wird als zu gefährlich (Schädigungsmöglichkeit der Oberfläche oder Tiefe des Kortikalabschnitts) bezeichnet, denn die Intensität muß 6mal höher als die therapeutische Dosis sein. Weiter kann man nach PORCHER die Motilität des Magens durch Ultraschall anregen, um Serienaufnahmen zu machen. Otosklerose und Ankylose der Gehörknöchelchen bleiben unbeeinflußt.

WACHSMUTH, Würzburg, bewies an Röntgenbildern die Zunahme der Blutzirkulation nach Ultraschallbehandlung bei SUDECKscher Erkrankung.

Mit weit über das therapeutische Maß hinausgehender Dosierung beschallte HORATZ, Hamburg, Mammakarzinome und besprach die histologischen Veränderungen an den Tumoren. Ca-Metastasen vergrößern sich unter Ultraschalleinwirkung. Ultraschall ist zur Ca-Behandlung ungeeignet, da Zellinseln übrig bleiben, die durch die Beschallung nicht alteriert werden, also weiterwuchern können.

HINTZELMANN, Wiesbaden, aufbauend auf kolloidchemischen Wirkungen des Ultraschalls, beschallt seit 1941 besonders die Wirbelsäule bei Morbus Bechterew. Er demonstrierte verschiedenartige Reaktionstypen dieser Krankheit, die Bedeutung der Herdinfektion und zeigte an einem Film die therapeutischen Ergebnisse, die sich in Zunahme der Beweglichkeit der Wirbelsäule in allen Abschnitten, Vergrößerung der Vitalkapazität und der Atembreite sowie beim Morbus Pierre Marie-Strümpell auch in Zunahme der Beweglichkeit der großen Gelenke äußern. Die therapeutischen Erfolge bleiben bestehen

Die Beobachtungen erstrecken sich auf ein besonders großes Material von rund 300 Fällen.

SCHLIEPHAKE, Schweinfurt, berichtete über frühere Versuche mit Hörschall offenbar geringer Intensität. Versteifte Gelenke werden beweglicher, wenn man das richtige Stadium des Prozesses zur Behandlung wählt. Auch mit niederfrequentem Ultraschall erreichte er eine gute Mobilisierung, die auf eine Massagewirkung des Ultraschalls zurückgeführt wird.

Wie TITZ, Hamburg-Altona, mitteilte, und dies auch schon durch andere Autoren bekannt war, spricht die schmerzhafte Schulterversteifung namentlich in ihren Anfangsstadien gut auf Ultraschall an.

Eine besondere Bedeutung kommt der Frage der Ultraschallwellenbehandlung des kindlichen Organismus zu. Aus den bekannten Untersuchungen von BUCHTALA über die Schädigung des wachsenden Knochens, die er mit erheblicher Überdosierung vorgenommen hat, kann nicht ohne weiteres auch auf eine Schädigung des kindlichen Organismus geschlossen werden. Es ist daher sehr zu begrüßen, daß ADAM, Erlangen, an seiner Klinik die Beschallung von Kindern durchführte und niemals Schädigungen des wachsenden Knochens beobachtet hat. Der lymphatische Rachenring ist ein günstiges Beschallungsobjekt, besonders die Mandeln und die Lymphknoten des Halses. Phlegmonen und Abszesse schmelzen gut ein. Er berichtet auch über Beschallungen des kindlichen Gehirns mit Dosen von 2,25 bis 2,5 W/cm² und maximal 5 min Dauer. Niemals traten Schädigungen auf, trotzdem das Stammhirn getroffen wurde.

In besonders eindrucksvoller Weise hat K. DUSSIK, Bad Ischl, als Neurologe die Ultraschalldiagnostik der Gehirnerkrankungen („Hyperphonographie" genannt) ausgearbeitet. Das Verfahren beruht auf der verschiedenen Schwächung, die der Ultraschall beim Passieren eines Untersuchungsobjektes je nach dessen „mechanischer" Struktur erfährt. Man kann hiermit am Patienten gefahr- und beschwerdelos ohne Kontrastfüllung anatomische und pathologische Zustände bildhaft erfassen. Hirntumoren, Hirnnarben, Hirnödem usw. kommen direkt im Bilde zum Ausdruck. Diese zukunftsreiche Methode erschließt der Neurologie neue Möglichkeiten, die über die bisher geübte Diagnostik hinausgehen und lehrt andererseits, daß der Ultraschall in diagnostischer wie therapeutischer Hinsicht eine Sonderstellung einnimmt. Das Nervensystem wird bei vorsichtiger Dosierung günstig vom Ultraschall beeinflußt. KIHN, Erlangen, fand dies bei der echten Neuritis. Rückenmarkserkrankungen sollen jedoch noch von der Ultraschalltherapie ausgeschlossen werden, da hierüber zu wenig Beobachtungsmaterial vorliegt.

Von dermatologischer Seite wird der Ultraschall erfolgreich bei vielerlei Krankheiten angewendet. Ganz besonders gut sprechen manche Formen des Ulcus cruris (offenes Beingeschwür) an (GOTTSCHALK, München, LEIDEL, Gießen, DEMMEL, Regensburg). Dies bedeutet den Wegfall des für die Patienten so lästigen Zinkleimverbandes. Auch Abszesse, Furunkel u. dgl. werden günstig beeinflußt (GOTTSCHALK, LEIDEL sowie WINTER, Dortmund). Ob der von BODE, Göttingen, als Wirkungsmechanismus in den Vordergrund der Betrachtungen gestellte Wärmeeffekt nun wirklich allein ausschlaggebend ist, erscheint äußerst fraglich. Auch BRÜNER, Göttingen, konnte zu dieser Frage keine eindeutige Klärung bringen. Auf eine von der Wärmeentstehung unabhängige „spezifische" Ultraschallwirkung kann aus den Befunden von STUHLFAUTH, München, am Hundeherzen geschlossen werden, weil es zu einem Abfall der Durchblutung in Femoralis und Koronararterie durch Ultraschall kommt, während Wärmeapplikation eine Steigerung der Koronardurchblutung hervorruft. Demnach sollte die Koronarsklerose von der Ultraschalltherapie ausgeschlossen werden.

Bisher galt auch das Auge als ein Organ, das dem Ultraschall nicht ausgesetzt werden dürfe. Nach den Versuchen von HENKEL, Garmisch (zusammen mit dem Ophthalmologen BATKE), am Kaninchen, ruft Ultraschall bei bestimmter Dosierung (1000 kHz, 2 W/cm², Tubus von 0,5 cm² Abstrahlfläche, 3 cm Halbwertschichtdicke, 5mal bis zu 10 min beschallt) weder in vivo, beobachtet mit der Spaltlampe, noch histologisch an irgend einem der Gewebe des Auges pathologische Veränderungen hervor. An menschlichen Augen, die nach dem klinischen Befund als verloren anzusehen waren, haben die Autoren mit derselben Dosierung, durch das Unterlid beschallt, eine Resorption von Blutungen, Aufhellung von Glaskörpertrübungen und Veränderungen an Hornhautnarben beobachtet. Sie raten trotzdem zu allergrößter Vorsicht und stellen weitere Untersuchungen zusammen mit der Universitäts-Augenklinik Erlangen in Aussicht. Auch auf diesem Gebiet brachte die systematische Forschung einen Abbau der Furcht vor Schädigungen, wenn genügend niedrig dosiert wird.

Dagegen wird noch sehr die Frage des Einflusses von Ultraschall auf Magengeschwüre umstritten. In Analogie zu dem schlecht heilenden Beingeschwür (Ulcus cruris) beschallte EBERT, Wolfsburg, Magengeschwüre. Er beobachtete, wie dies auch einige Diskussionsredner unterstrichen, subjektive Besserungen. Es muß der weiteren klinischen Forschung vorbehalten bleiben, ob das Magengeschwür, das ja ein Symptom für eine im vegetativen Zentrum zu suchende Störung ist, auf dem bisher eingeschlagenen Wege durch Ultraschall heilbar ist. Die Vorstellungen von KRONER, Wörth, über die Virusätiologie mancher inneren Erkrankungen, besonders auch der Gastritis mit und ohne Magengeschwüre, bedürfen noch der experimentellen Klärung, wenngleich auch hier von therapeutischen Erfolgen berichtet wurde. Es ist jedoch zu bedenken, daß gerade das Magengeschwür auf alles Mögliche anspricht und daher im augenblicklichen Stadium der Ultraschallforschung nicht gerade ein sehr geeignetes Objekt darstellt, um den Wirkungsmechanismus des Ultraschalls bei krankhaftem Geschehen zu eruieren.

Die auf ein neurotropes Virus zurückzuführende Gürtelrose spricht auf Ultraschall an (MÜLLER, Großheubach), ebenso das Asthma (ANSTETT, Lyon). Rhythmische Ultraschallimpulse verwendet BINDIG, München.

Über die Gefahrenzustände für den Therapeuten bei der Anwendung der Ultraschallwellen berichtete LADEBURG, Freiburg i. Br. Er beobachtete an sich selbst im rechten Arm subjektive Beschwerden, die vom konsultierten Neurologen als traumatische Neuritis ohne objektiven Befund bezeichnet wurden. Außerdem bestand eine rasche Ermüdbarkeit. Als Schutz gegen die vom Schallgeber auf die Hand usw. des Therapeuten möglicherweise übergehenden Ultraschallwellen empfiehlt er einen Zwirnhandschuh. Vielfältige Erfahrungen der Physiker, Ingenieure, Techniker und Therapeuten, die seit langen Jahren die Abstimmung ihrer Geräte an der eigenen Hand immer wieder an der gleichen Stelle vornehmen, sprechen gegen das Auftreten von Schäden, wie aus der lebhaften Diskussion über dieses Thema hervorging. Es gibt Massageköpfe bestimmter Konstruktion, die ein deutliches Schwirren fühlen lassen und deshalb suspekt sind. Da Ultraschall praktisch nicht von Luft geleitet wird, besteht kaum die Gefahr, daß der Massagekopf an der Membran nennenswerte Energien in den Raum abstrahlt. Natürlich wird sich kein vernünftiger Mensch mehr als nötig dem Ultraschall aussetzen, ebenso wenig wie irgendeiner anderen physikalischen oder chemischen Energieform. Vor allem muß die zum Teil zu hohe Dosierung erheblich abgebaut werden.

Auf dieser ersten internationalen Arbeitstagung, die die Physiker, Techniker, Ärzte und andere am Ultraschallproblem interessierten Kreise vereinigte, wurde auch eine Ultraschall-Arbeitsgemeinschaft gegründet, der sowohl deutsche als auch ausländische Gelehrte angehören. Jedes Land wird einen Vertreter stellen. Als erste Handlung erläßt diese Ultraschall-Arbeitsgemeinschaft eine Erklärung, laut der die Beschallung des Karzinoms sich noch im Forschungsstadium befindet, infolgedessen noch nicht der praktischen Therapie zugänglich ist, und in der weiter ausdrücklich vor der Laienbehandlung mit Ultraschall gewarnt wird.

Diese internationale erste Tagung brachte zum Ausdruck, daß nicht nur das Interesse am Ultraschall überall sehr groß ist, sondern daß auch schon vielerlei eindeutige Resultate vorliegen und wir über eine ganze Reihe gesicherter Indikationen verfügen. Bei manchen Erkrankungen ist der Ultraschall allen anderen Behandlungen überlegen und geradezu die Methode der Wahl

Er hat sich in die Diagnostik der Gehirnerkrankungen Eingang verschafft und verspricht hier Fortschritte zu zeitigen. Die Dosierung geht in Richtung der geringeren Dosen (abgestrahlte W/cm² und Dauer der Einzelapplikationen). Bei vernünftiger Dosierung erweist sich der Ultraschall als nicht gefährlicher als andere Energieformen es auch sind. Dauerschäden sind bei jahrelanger Beschäftigung mit Ultraschall nicht beobachtet worden.

Stuttgart, Laboratorium für physikalische Chemie und Elektrochemie der Technischen Hochschule.
Wiesbaden, städtische Rheumaklinik.

Eingegangen am 13. Juli 1949.

Kurze Originalmitteilungen.

Reflexion eines Atomstrahles am Rande eines Magnetfeldes[1]).

Nach LANDÉ[2]) kann man die Ablenkung magnetischer Teilchen im inhomogenen Magnetfeld (STERN-GERLACH-Effekt) in Analogie zur Optik als Strahlenbrechung im inhomogenen doppelbrechenden Medium auffassen. Der Brechungsexponent eines Magnetfeldes vom Betrag H gegen

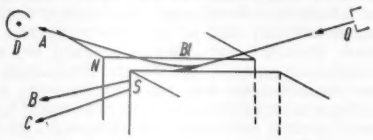

Fig. 1. Verlauf der Atomstrahlintensität in der Auffängerebene bei verschiedenem Einschußwinkel in das Magnetfeld.

den feldfreien Raum hat für Teilchen mit einem magnetischen Moment μ, dem Spin $\frac{1}{2}$ und der kinetischen Energie E zwei Werte, entsprechend der parallelen und antiparallelen Spineinstellung zum Magnetfeld, nämlich

$$n = \sqrt{1 \pm \mu H/E}\,.$$

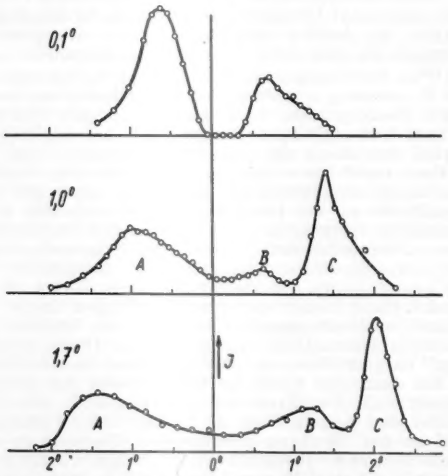

Fig. 2. Schema der Versuchsanordnung zum Nachweis der Totalreflexion eines Atomstrahls am Rande eines Magnetfeldes.

Wenn man einen Atomstrahl unter passendem Winkel auf die Trennfläche zwischen 2 Gebieten mit verschiedener Feldstärke fallen läßt, kann man wie beim NICOLschen Prisma der Optik totale Reflexion der einen Komponente erhalten.

Der Versuch wurde nach dem Schema der Fig. 1 mit einem Kalium-Atomstrahl ausgeführt. O ist die Ofenblende, bei Bl befindet sich die Bildblende (nicht gezeichnet) und D ist ein Atomstrahldetektor nach TAYLOR[3]) (glühender Wolframdraht, an dem die auftreffenden Atome ionisiert werden). Der Atomstrahl wird unter flachem Winkel in den Spalt zwischen zwei ebenen Polschuhen eingeschossen und der austretende Strahl durch vertikale Bewegung des Detektors abgetastet. Eine ähnliche Anordnung wurde von RABI[4]) zur Messung der magnetischen Doppelbrechung benutzt. Im Gegensatz zum optischen Analogon ändert sich der Brechungsexponent nicht sprunghaft, sondern stetig, die Bahn der Teilchen bekommt daher keinen scharfen Knick, sondern einen flachen Bogen. Eine Reflexion mit der charakteristischen Winkelbeziehung Einfallswinkel gleich Ausfallswinkel kann man nur erwarten, wenn dieser Bogen sich voll ausbilden kann, wenn also der Spalt genügend lang ist, so daß der Strahl nicht an den vertikalen Randflächen der Polschuhe ein- oder austritt. Diese Bedingung war nur für Einfallswinkel $\geq 1°$ einigermaßen erfüllt.

Fig. 2 zeigt die Ergebnisse der Strahlabtastung für verschiedene Einfallswinkel (gemessen zwischen Strahl und Polschuh-Oberkante). Als Abszisse ist der Ausfallswinkel, als Ordinate die relative Intensität aufgetragen.

Bei sehr flachem Einfallswinkel tritt der Strahl an den Seitenflächen ein und aus, es zeigt sich eine einfache Aufspaltung analog zum STERN-GERLACH-Experiment. Bei 1° erkennt man deutlich 3 Maxima, bei C die parallel orientierten Teilchen, bei B dicht daneben diejenigen antiparallel orientierten, die wegen der MAXWELL-Verteilung eine so hohe Geschwindigkeit haben, daß für sie der Grenzwinkel der totalen Reflexion überschritten ist und bei A die langsameren und daher total reflektierten antiparallelen Teilchen. Bei Vergrößerung des Einfallswinkels bewegen sich das Maximum A und die Gruppe BC gegenläufig zueinander. Gleichzeitig verringert sich der relative Anteil der reflektierten Teilchen.

Eigentlich sollte man zwischen B und C noch ein weiteres Maximum erwarten, da ein Teil der Atome zu Molekeln assoziiert ist und daher überhaupt nicht abgelenkt wird. Die Messung bei 0,1° zeigt jedoch, daß dieser Anteil unter der Nachweisempfindlichkeit der Anordnung liegen muß. Am Ort des unabgelenkten Strahls (nachgeprüft durch Ausschalten des Feldes) verschwindet die Strahlintensität innerhalb der Meßgenauigkeit. Die einfachste Erklärung hierfür scheint zu sein, daß die infolge des niedrigen Sättigungsdruckes (Ofentemperatur etwa 250° C) nur in geringer Konzentration vorhandenen Molekeln beim Durchtritt durch den stark überhitzten Ofenspalt größtenteils wieder dissoziiert werden.

II. Physikalisches Institut der Universität Göttingen.
H. FRIEDBURG und W. PAUL.

Eingegangen am 3. September 1949.

[1]) Vorgetragen auf der Physikertagung in Hamburg am 22. 4. 49.
[2]) LANDÉ, A.: Naturwiss. 17, 634 (1929).
[3]) TAYLOR, JOHN B.: Z. Phys. 57, 242 (1929).
[4]) RABI, I. I.: Z. Phys. 54, 190 (1929).

Proportionalzähler mit hohem Verstärkungsgrad.

Zählrohre mit reiner Gasfüllung (Argon, Luft) zeigen einen relativ engen Proportionalbereich. Der Übergang in den Auslösebereich findet bereits bei einer Verstärkung der Primärionisation auf das 10^2- bis 10^3-fache (Verstärkungsfaktor) statt. Zusatz von Dämpfen (z. B. Äthylalkohol) erweitert den Proportionalbereich um 2 Zehnerpotenzen. Dabei soll hier unter dem Proportionalbereich das gesamte Gebiet bis zum Beginn des Auslösebereichs, also einschließlich des beschränkten Proportionalbereichs verstanden werden.

Versuche an Zählern mit reiner Dampffüllung haben nun gezeigt, daß sich in manchen Fällen dieser Bereich noch beträchtlich erweitern läßt. Besonders günstig liegen die Verhältnisse beim Methylal $CH_2(OCH_3)_2$, wo z. B. im beschränkten Proportionalbereich Verstärkungsfaktoren von über 10^6 für α-Strahlen gemessen wurden. Solch hohe Verstärkungsfaktoren treten bei den üblichen Argon + Alkohol-Zählern erst im Auslösebereich auf. Messungen mit dem Oszillographen ergaben, daß die reinen Dampfzähler die von Proportionalzählern her bekannte kurze Impulsdauer aufweisen; sie liegt bei Methylal bei einigen 10^{-7} sec. Hieraus ergibt sich, daß solche Zähler mit Vorteil anwendbar sind bei Messung von α-Strahlen in Gegenwart eines starken β-Untergrundes. Da bei Zählrohren mit reiner Dampffüllung auch Elektronen im beschränkten Proportionalbereich bereits hohe Stoßgrößen liefern, lassen sich mit solchen Zählern β-Strahlen verschiedener Energie leicht unterscheiden. Auch konnte z. B. der durch verschiedene Einstrahlungsrichtung (senkrecht und parallel zur Zählrohrachse) hervorgerufene Unterschied in der Primärionisation von α-Strahlen mit einfachen Mitteln nachgewiesen werden.

Der Zusammenhang zwischen Zählrohrspannung und Impulsgröße wurde mit einem Breitbandverstärker und Diskriminatorstufe gemessen. Die Messungen bei verschiedenen Gasfüllungen wurden mit demselben Messingzählrohr (200 mm

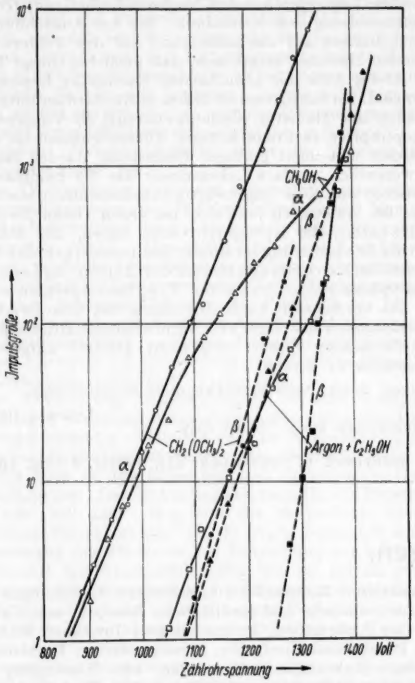

Fig. 1. Abhängigkeit der Impulsgröße von der Zählrohrspannung für Gase mit reiner Dampffüllung (Methylal, p = 32 mm; Methylalkohol, p = 40 mm) und Argon-Alkohol-Füllung (Argon p = 65 mm + Alkohol p = 15 mm).

lang; 20 mm ⌀; 0,15 mm Drahtdurchmesser) durchgeführt. Zum Eintritt der α-Teilchen eines Po-Präparates waren Al-Fenster angebracht. Zur Erzielung möglichst kurzer Impulse wurde ein Arbeitswiderstand von 1 kΩ benutzt.

Einige Meßergebnisse sind in Fig. 1 dargestellt[1]). Zunächst erkennt man für den Fall des Argon-Alkohol-Zählers den charakteristischen Übergang vom beschränkten Proportionalbereich in den Auslösebereich. Dieser kommt dadurch zustande, daß die Zunahme der Verstärkung mit der Spannung für die α-Strahlen infolge zunehmenden Einflusses der Raumladung schließlich immer mehr gegenüber der Kurve für die β-Strahlen zurückbleibt, bis sich beide Kurven treffen und dadurch den Beginn des Auslösebereichs anzeigen. Der Verstärkungsfaktor für α-Strahlen bleibt also in diesem Bereich um mehrere Größenordnungen hinter dem für β-Strahlen zurück. Eine überschlagsmäßige Rechnung ergab für diesen Punkt beim Argon + Alkohol-Zähler einen Verstärkungsfaktor für α-Strahlen von größenordnungsmäßig 10^5. Im Gegensatz dazu wird innerhalb des untersuchten Spannungsbereichs für den Methylalzähler (mit 32 mm Druck) die Vereinigung von α- und β-Kurve nicht erreicht. Die höchsten gemessenen Impulsgrößen für α-Strahlen entsprechen einem Verstärkungsfaktor von etwa 10^6.

Weitere untersuchte Dämpfe wie Methylalkohol (s. Fig. 1), Äthylalkohol, Methan, Azeton, Chloroform, Tetrachlorkohlenstoff, sowie Amylazetat nahmen Zwischenstellungen zwischen diesen beiden Sonderfällen ein. Eine ausführliche Darstellung der Ergebnisse ist in Vorbereitung.

Weil am Rhein.

E. Fünfer und H. Neuert.

Eingegangen am 4. August 1949.

[1]) Die Kurven für die α-Strahlung gelten für eine Einstrahlungsrichtung senkrecht zum Zähldraht.

Der Kälteblock der einzelnen markhaltigen Nervenfaser.

In der markhaltigen Nervenfaser soll sich nach Erlanger und Gasser, Tasaki und von Muralt[1]) die Erregung saltatorisch fortpflanzen, indem sie von einem Ranvierschen Schnürring zum nächsten springt. Nach dieser Auffassung sind die eigentlich erregbaren Teile der markhaltigen Nervenfaser an den Schnürringen gelegen, während die dazwischenliegenden Abschnitte (Internodien) nur die Rolle elektrischer Leiter spielen. Da die lipoidartige Myelinscheide der Internodien einen hochwertigen elektrischen Isolator darstellt, sind für eine Untersuchung elektrischer Vorgänge (und für Narkotika) nur die Schnürringe zugänglich. Es erschien daher notwendig, das Verhalten der internodalen Abschnitte der markhaltigen Nervenfaser mit anderen als elektrischen Methoden zu untersuchen, um die Hypothese der saltatorischen Erregungsleitung zu prüfen.

Die einzelnen motorischen Nervenfasern (zur Gruppe Aα gehörig) wurden nach der Methode von Tasaki[2]) und Stämpfli[3]) aus dem Nervus ischiadicus der Frösche *Rana ridibunda* oder *R. esculenta* (Sommerfrösche) isoliert. Die Faser blieb in Verbindung mit dem Musculus gastrocnemius, dessen Zuckung als Indikator der durch Induktionsschläge ausgelösten Erregungswelle diente. Die isolierte Faser wurde lokal durch Silberstifte gekühlt, die in eine Kühlmischung tauchten. Die Temperatur der Silberstifte konnte thermoelektrisch gemessen werden. Der Durchmesser der Silberstifte betrug 0,46 mm, die Länge der Internodien der Nervenfaser 1,5 bis 2,2 mm. In den meisten Versuchen wurden drei nebeneinanderliegende Kühlstifte verwendet (Fig. 1), deren Abstand so eingestellt war, daß sie drei aufeinanderfolgende Schnürringe kühlten oder in der Mitte dreier Internodien lagen.

Bei einer Temperatur der Silberstifte von —1° C war die Erregungsleitung in der isolierten Nervenfaser unterbrochen. Für die blockierende Wirkung war es gleichgültig, ob die Schnürringe oder die internodalen Strecken gekühlt wurden. Die Blockierung verschwand, sobald die Temperatur der Silberstifte auf + 1° C erhöht wurde.

Während der Kühlung der Internodien war die Temperatur an den Schnürringen noch immer so hoch, daß hier keine Blockwirkung eintreten konnte, was durch direkte Messung der Temperatur, die zwischen den Kühlstiften an den Schnürringen herrschte, gesichert wurde.

Es wurden drei aufeinanderfolgende Kühlstellen benutzt, weil die Möglichkeit besteht, daß von der Erregung eine oder zwei blockierte Stellen noch übersprungen werden. In einigen Versuchen gelang es trotzdem, mit nur einem Kühlstift sowohl am Schnürring wie im Internodium einen reversiblen Block zu erzeugen.

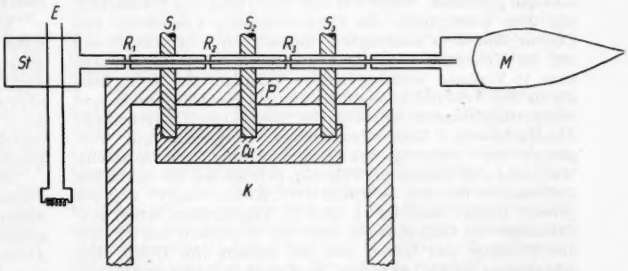

Fig. 1. Schema der Versuchsanordnung. *Cu* Kupferblock; *E* Reizelektroden; *K* Kältemischung; *M* Muskel als Indikator; *P* Kühlküvette aus Paraffin; R_1, R_2, R_3 drei aufeinanderfolgende Ranvierische Schnürringe der isolierten Nervenfaser; S_1, S_2, S_3 die drei Kühlstifte in den Internodien; *St* Nervenstumpf. Die Nervenfaser und vor allem die den Achsenzylinder umgebende Myelinscheide sind im Verhältnis zur Länge der Nervenfaser zu dick gezeichnet. Das wirkliche Verhältnis von Durchmesser zur Länge der Nervenfaser beträgt etwa 1:200.

Diese Ergebnisse widersprechen der Auffassung, daß die internodale Strecke lediglich die Funktion eines Leiters habe. Eine Herabsetzung der elektrischen Leitfähigkeit wäre nämlich erst dann zu erwarten, wenn durch die Kühlung der Achsenzylinder gefrieren würde. Das ist bei — 1° C sicher noch nicht der Fall. Boyd und Ets[4]) beobachteten (am ganzen Nerven) ebenfalls bei — 1° C einen Leitungsblock, ein Gefrieren und damit irreversible Änderungen in der Nervenfaser jedoch erst bei — 6°. Auch war die Nervenfaser niemals auf den Kühlstiften angefroren, sondern ließ sich stets leicht auf ihnen verschieben.

Aus diesen Versuchen folgt mit großer Wahrscheinlichkeit, daß die internodale Strecke des Achsenzylinders der markhaltigen Nervenfaser nicht nur die Aufgabe eines elektrischen Leiters hat, sondern daß die Erregung selber in ihr verläuft und hier auch blockiert werden kann.

Eine ausführliche Darstellung wird in der Zeitschrift für vergleichende Physiologie erfolgen.

Göttingen, Zoologisches Institut der Universität.

HANSJOCHEM AUTRUM und DIETRICH SCHNEIDER.

Eingegangen am 17. August 1949.

[2]) Zusammenfassende Darstellung in A. v. MURALT, Die Signalübermittlung im Nerven. Basel 1946.

[3]) TASAKI, I.: Amer. J. Physiol. **125**, 367 (1939); **127**, 211 (1940). — Pflügers Arch. **244**, 125.

[3]) STÄMPFLI, R.: Helv. physiol. Acta **4**, 411 (1946).

[4]) BOYD, T. E., u. H. N. ETS: Amer. J. Physiol. **107**, 76 (1934).

Epidemisches Auftreten von Feldfieber in Niedersachsen.

In der letzten Juliwoche 1949 sind, namentlich in den Kreisen Wolfenbüttel, Helmstedt und Braunschweig-Land gehäuft hochfieberhafte Erkrankungen (insgesamt 200—250) aufgetreten, bei denen es sich um das durch Leptospiren hervorgerufene Feld- oder Schlammfieber handelte. Die Erkrankungen betrafen vorwiegend Frauen und Jugendliche, die um Mitte Juli Erbsen gepflückt hatten. Da die Feldmaus (Microtus arvalis) als Virusreservoir und Überträger der Feldfieberleptospiren gilt [SCHÜFFNER und BOHLANDER[1])], wurden sofort Untersuchungen an Feldmäusen unternommen, die von Erbsenfeldern stammten, von denen Infektionen ausgegangen sind. Schon die ersten Untersuchungen in der Feldflur Semmenstedt und Gevensleben (Kreis Wolfenbüttel) ergaben, daß rund 80% der erwachsenen und rund 30% der jungen Feldmäuse Leptospiren in den Nieren beherbergten. (Dunkelfeldtuntersuchung von Nierenbrei.) Bei der Ausdehnung der Untersuchungen auf die zahlreichen auf den Feldern anzutreffenden Hamster, zeigte sich, daß auch bei dieser Tierart rund 60 bis 70% der erwachsenen Exemplare Leptospirenträger sind. Im Schrifttum ist bisher nichts darüber mitgeteilt, daß auch der Hamster (Cricetus cricetus) als Virusreservoir für Leptospiren in Frage kommt. Dieses Faktum ist epidemiologisch von nicht geringer Bedeutung, da der Hamster eine wesentlich größere Lebensdauer als die Feldmaus hat und ebenso wie diese gegenwärtig außerordentlich stark verbreitet ist. Autoptisch fand sich bei vielen Tieren (Feldmaus und Hamster), die leptospirenpositiv waren, das Bild der Nephritis. Die Isolierung der Epidemiestämme ergab, daß die Infektionen bei Menschen und Mäusen durch einen, der Leptospira grippotyphosa nahe verwandten Typ, hervorgerufen worden sind. Die vorstehende kurze Mitteilung hat den Zweck, die Aufmerksamkeit der Ärzte und Naturwissenschaftler auf diese in Niedersachsen bisher noch nicht gehäuft aufgetretene Leptospirose zu lenken.

Staatl. Medizinaluntersuchungsamt Braunschweig.

LUDWIG POPP.

Eingegangen am 6. August 1949.

[1]) SCHÜFFNER u. BOHLANDER: Zbl. Bakter. I Orig. **149**, 359 (1943).

Besprechungen.

Siggel, Alfred: Katalog der arabischen alchemistischen Handschriften Deutschlands. Handschriften der Öffentlichen Wissenschaftlichen Bibliothek (früher Staatsbibliothek Berlin). Berlin: Akademie-Verlag. Din A 4, 144 S. Brosch. DMark 30.—.

Dieser von Prof. Dr. A. SIGGEL (Berlin) im Auftrage der „Deutschen Akademie der Wissenschaften" bearbeitete Katalog behandelt 37 Handschriften: von S. 15 bis 144 werden die Titel und Verfassernamen arabisch, lateinisch und in Übersetzung mitgeteilt und zugleich ausführliche arabische Textproben mit Angaben des Inhalts der chemiehistorisch wichtigen Teile der Handschriften, betreffend die Autoren, Geräte, Verfahren usw. gebracht. Der *Bearbeiter* hat damit eine durch Fleiß, Sorgfalt und Sachkenntnis ausgezeichnete Arbeit geleistet, und der Akademie-Verlag hat sie in ein schmuckes Gewand gekleidet. Wenn wir nun den *Inhalt* der Handschriften vom Standpunkt des experimentellen Chemikers und Chemiehistorikers analysieren, müssen wir von vorneherein auf die Eröffnung neuartiger Erkenntnisse verzichten. Die etwa 16 Verfasser sind begeisterte Anhänger der Naturphilosophie des Aristoteles, modifiziert durch Neuplatonismus und Neupythagoräismus; astrologische Abhängigkeit, symbolische Ausdrucksweise, Geheimbuchstaben, Vergleiche mit Vorgängen der Verdauung, des Geborenwerdens, bzw. Aussäens, Wachsens und Reifens der Pflanzen (wie solches die deutschen Alchemisten mit den Schriften der „Kleine Bauer" und der „Große Bauer" noch im 17. und 18. Jahrhundert taten) verdunkelten die Enthüllungen über die Synthesen des Elixiers der Weißung (für Silber) und der Rötung (für Gold). Beachtenswert ist die Lehre der „Mizān", d. h. von den *Mengenverhältnissen* (!) der 4 Elemente des *Empedokles* in den einzelnen der 7 Metalle, und von der Bestimmung dieser Verhältnisse nach der Schrift „Burhan" des *Alī al-Gildakī* und seinen Kommentaren dazu (S. 57 bis 69, sowie 89 bis 91). Dieser Autor ist auch der Verfasser der Schrift „Die Perle des Perlenfischers ..." (S. 69 bis 81), in welcher er aus allen ihm in Prosa und Poesie zugänglichen Werken eine Art Enzyklopädie über die Geheimnisse und Wunder der Dinge aus den drei Naturreichen, sowie auch über deren (medizinische) Nützlichkeit zusammengestellt hat, — inhaltlich erinnert sie an die sog. „*Enzyklopädien*" des Mittelalters, z. B. des *Vincenz von Beauvais* (XIII. Jahrhundert), der auch 350 griechische, lateinische und arabische Autoren für sein Werk „Speculum majus" exzerpiert hatte. Eine typisch orientalische Schriftgattung stellen zwei Werke dar, und zwar: von *Al-Gaubarī* „Das Buch von der Auswahl über die Enthüllung der Geheimnisse" (S. 117 bis 127), in sechs verschiedenen Ausfertigungen, und von AL-GRĀQĪ: „Quellen der Wahrheit ..." (S. 128 bis 131). Nach den kurzen Inhaltsangaben SIGGELS geht es hier um Gaukeleien, Kunststücke, Fälschungen, Täuschungen u. ä., auch um praktische und medizinische Rezepte: um „*Geheimnisse*" der Alchemisten, Drogenhändler, Juweliere, Künstler, Ärzte, Pferde- und Tierfärber, Menschenfärber, Futtermittelhersteller, Nahrungsmittelhersteller, um Beseitigung von Schriftzügen in Büchern, um Töten mittels Papieren, die mit Chemikalien getränkt sind usw. Kurz, *diese* Art arabischer Alchemie zeigt die kriminelle Entwicklungsrichtung an und offenbart ein dunkles Kapitel der Kulturgeschichte des Orients.

PAUL WALDEN.

Eingegangen am 10. August 1949.

Weizsäcker, Carl Friedrich v.: Die Geschichte der Natur. Zwölf Vorlesungen. Stuttgart: S. Hirzel und Göttingen: Vandenhoeck und Ruprecht 1948. DMark 5.—.

Das Buch, Abdruck der Vorlesungen eines Semesters, widmet sich der für unsere Universitäten vordringlichen Aufgabe: zentrale Kapitel der Wissenschaft von der Natur auch dem Nicht-Naturwissenschaftler faßbar zu machen. v. WEIZSÄCKER vollbringt dies in einer Art, die unvergleichlich tiefer greift als jede popularisierende Darstellungsart. Sein Hilfsmittel dazu ist eine, im Referieren, hohe Meisterschaft und Durchgeklärtheit der Vortragsweise.

Das WEIZSÄCKERsche Buch hat aber noch eine andere Funktion. Sicherlich ist es genau so gut einer Menge Naturwissenschaft treibender Zeitgenossen wie den Geisteswissenschaftlern ein zunehmend irritierendes Rätsel: Wie kommen Atomphysik und Existenzphilosophie zusammen, — diese zwei heute so im Vordergrund stehenden, typisch heutigen Erscheinungen, die doch einerseits nicht die ganze Naturwissenschaft und andererseits nicht die ganze Philosophie von heute vertreten? Wer über die Bedingungen der Möglichkeit dieser erstaunlichen und immer effektvoller werdenden Verbindung nachgrübelt, muß WEIZSÄCKERS Buch zur Hand nehmen. Er wird kaum irgendwo eine höherstehende, geistvollere, — aber auch erschütternde Antwort finden als hier.

Die I. Vorlesung deutet an, daß es eine ganz besondere Bewandtnis hat mit dem Sinn von „Geschichte" in der Zielsetzung „Geschichte der Natur". Dem nicht in Existenzphilosophie eingeweihten Naturwissenschaftler, — der vielleicht auch nicht gegenwärtig hat, daß modernes christliches Philosophieren, z. B. bei GERH. KRÜGER, die „Geschichtlichkeit" als *Gegen*begriff zum Zeitbegriff der Naturwissenschaften versteht, — wird es nicht leicht sein, jene besondere Bewandtnis zu würdigen. Dringliche Wissensbedürfnisse mehr des Geisteswissenschaftlers dürften auch die folgenden drei Vorlesungen erfüllen. Bis dahin scheint sich das Buch die schöne Aufgabe zu setzen, auch dem Geisteswissenschaftler die heute

gängigen Hypothesen über die zeitlichen Ausmaße der irdischen und kosmischen Entwicklung, über die räumlichen Verhältnisse des Kosmos und über wichtige Methoden unserer Messung und Schätzung dieser Maße vorstellbar zu machen.

In diesen referierenden Kapiteln ist das Buch wohl das Lesenswerteste und Förderlichste für den Nicht-Naturwissenschaftler, um sich wirklich etwas von den heutigen kosmologischen Hypothesen der Naturwissenschaften faßlich zu machen. Läßt man die verschiedenen beteiligten naturwissenschaftlichen Fächer sich ergänzen, — wie es WEIZSÄCKER virtuos zu tun versteht —, so gibt die Naturwissenschaft ja heute wirklich ein Bild von der *Geschichte des Kosmos*, — auch wenn deren „Geschichtlichkeit" nicht die HEIDEGGERsche „Geschichtlichkeit" ist.

Die IV. Vorlesung zieht die bekannten hypothetischen Folgerungen aus dem zweiten thermodynamischen Hauptsatz über ein notwendiges Ende, aber auch einen notwendigen Aufgang der „Welt". Das heißt, Problemsicht und Sprachgebrauch wechseln zwischen dem letzteren metaphysischen Begriff und dem ins naturwissenschaftliche Begriffssystem passenden des „heutigen Zustandes der Welt" (S. 34, 35). Der 2. Hauptsatz wird zum Zentralsatz dieser WEIZSÄCKERschen Kosmologiedarstellung. — Gegen Ende der ersten vier Vorlesungen klärt sich die Verwendung des leitenden Begriffs der „Geschichtlichkeit der Zeit" weiter auf.

Die V. Vorlesung „Unendlichkeit" verweilt weniger bei der heutigen mathematisch-physikalischen Seite der Unendlichkeitsproblematik. Vielmehr geht sie zu hochgradig metaphysischen Konsequenzen über. Diese Behandlungsart steigert sich noch in den folgenden zwei Vorlesungen, bei der Behandlung der „Geschichte des Himmels bis zur Entstehung der Erde" auf dem „Weg von der Morphologie über die Genetik zur Kausalanalyse" (S. 56). Nicht behandelt wird ein Wechselbezug des Problems der Entstehung der kosmischen Gebilde mit der Raumproblematik, wie sie gemäß der Beziehung von Massenverteilung und Raummetrik naheläge.

Die mit „Die Erde" überschriebene Vorlesung beschreibt den irdischen Entwicklungsgang einschließlich der Entstehung des nichtmenschlichen Lebens. „Solche Moleküle oder Molekülgruppen, die wir lebendig nennen" dürften „aus solchen, die wir noch nicht lebendig nennen" entstanden sein. (Kann der Biologe — selbst wenn er „auf die energetischen Verhältnisse achtet" — dies jemals als eine Erfüllung des Grundgesetzes dieser Naturgeschichte, nämlich der ständigen Zunahme der „Wahrscheinlichkeit" der Zustände und der „Unordnung", sehen?)

Die IX. Vorlesung („Das Leben") gilt fast ganz dem Vitalismus- und Evolutionsproblem. In der X. und XI. Vorlesung beschäftigt sich das Buch mit Gegenständen, die man der biologischen und philosophischen Anthropologie zurechnet. Nicht geringere Probleme als: Instinkt-Intellekt, Abstammung des Menschen, Geschichtsmorphologie, Kultur-Zivilisation, Willensfreiheit ... kommen da aufs Tapet. Die XII. Vorlesung aber steht bei der Theologie: sie handelt unter anderem von der „religiösen Erfahrung von der Transzendenz und vom Kampf der Götter" ... Wo bleibt hier — beim Abschluß und Fazit — die Natur? Wo bleibt die Naturwissenschaft? Wie ist der Zusammenhang dieser Schlußkapitel mit dem Gang von der Astrophysik zur Paläobiologie?

Das Buch läuft auf einen Versuch der Widerlegung der Naturwissenschaft durch die Naturwissenschaft hinaus. Deshalb ist Besprechung dieses Buches nur als Auseinandersetzung mit ihm möglich. Es zwingt zur Stellungnahme. Und das will es wohl gerade.

Erkenntnis ist für WEIZSÄCKER nur „gute" Erkenntnis, wenn sie mit (christlicher) Liebe verbundene, durch sie gebundene Erkenntnis ist (S. 131). Diese „christliche Liebe ist ... Zuwendung zum *Menschen*" (S. 132, Sperrung vom Referenten), — über die Zuwendung zu Gott. Was aber ist die neuzeitliche Naturerkenntnis als Zuwendung zur *Natur*? Sie ist, im tiefsten Grunde, Abweg in einen Ersatz-„Mythos": „Einige Menschen der Neuzeit haben die Natur mit der unendlichen Liebe geliebt, die einst nur Gott zukam ... Darum mußte sie (die Natur) unwandelbar wirklich und ohne Grenzen sein" (vgl. S. 51 bis 53). MARTIN HEIDEGGERS Ansatz: das wissenschaftliche Erkennen des nur „Vorhandenen" als modus deficiens, steht im Hintergrunde. — Das Buch zeigt also, gerade auch dem Naturwissenschaftler, ein sehr überraschendes, grundsätzliches „Bild von der Natur, (zu dem) wir uns bekennen ..." Ein solches Unterfangen stößt auf die Probleme der Begrenzung der Natur und des Ansichseins der Natur. Dies sind *philosophische* Probleme. WEIZSÄCKER spricht es nicht aus. Selbst nur der Terminus „philosophisch" scheint auf S. 99 zum erstenmal genannt zu sein. (Obwohl das Buch, ohne dabei zu verweilen, selbst im Bereich des existenzphilosophischen Denkens steht. Dieser wird definiert durch das Axiom von der Notwendigkeit des Hindurchgehens durch „Verzweiflung" und das „Erleben des Nichts". Vgl. über das „existenzielle Ich" S. 102: „Die Geschichte ist das Schicksal", Schicksal — Möglichkeit — vermögen — S. 12, 126f. —: vgl. dazu M. HEIDEGGER.) Warum verschweigt das Buch die Philosophie? Sein Verfasser lehnt den Versuch der Kosmologie allein aus dem „rationalen Denken der Neuzeit" (S. 132) ab.

Oder, um von anderer Seite her zu antworten: Philosophie darf bekanntlich nicht erbaulich sein. WEIZSÄCKERS Buch ist — ohne Anzüglichkeit gekennzeichnet, sondern faktisch — erbaulich. Er zeigt, daß *Naturwissenschaft* in einem gänzlich *neuen* Sinne erbaulich sein kann: wenn sie, wie WEIZSÄCKER es sieht, heute nicht mehr vor dem Kosmos, vor dem All steht, sondern vor dem — Nichts. („Die Frage nach der Sache selbst beginnt mit der Erkenntnis, daß wir vor dem Nichts stehen", S. 53). *Deshalb* muß Erkenntnis hinfort vielmehr „*in den Dienst*" der Liebe — zu *Gott* bzw. zum *Menschen* — treten (S. 132).

Der Abdruck dieser Vorlesungen setzt sich mit ernstlicher Kühnheit der Kritik von buchstäblich allen Seiten aus: Von seiten einer ganzen Gruppe von zuständigen naturwissenschaftlichen Disziplinen; von seiten philosophischer und theologischer Metaphysik, Ontologie, Kosmologie und Anthropologie; und schließlich von logisch-erkenntnistheoretischer Seite. Die letztere wird vielleicht die schlichteste hier mögliche sein.

Der Logiker und Erkenntnistheoretiker wird gestehen müssen, daß er zwei Argumentationen nicht zu begreifen vermag.

Die eine ist die Argumentation dafür, daß die hier zugrunde gelegte Bedeutung des 2. thermodynamischen Hauptsatzes „aus der Struktur der geschichtlichen Zeit" folgt. (Das ist ein sehr großes natur-philosophisches Theorem!) In einem Diskussionskreis mit Studenten der Mathematik, Physik und Philosophie wurde der Zusammenhang des Gestaltbegriffs mit der Erklärung des 2. Hauptsatzes zum Weltprinzip als logische Schwierigkeit empfunden (vgl. vor allem S. 65!).

Vor allem aber Erkenntnistheorie und Logik müssen sich dagegen wehren, daß die *verschiedenen* Probleme des Ansichseins und der Unendlichkeit (gar der Raum-Zeit-Struktur) der Natur über *einen* Leisten geschlagen werden. „In jenen fernsten Bereichen" — „wenn wir in die letzten Gründe der Natur im Unendlichkleinen oder in ihren äußersten Rahmen im Unendlichfernen vorzudringen suchen" — „ist uns nur noch das faßbar (?), was wir selbst machen oder was wenigstens so ist, daß wir dergleichen machen könnten" (S. 52). Von hier geht es in atemraubendem Tempo zur Folgerung: Wir müssen auf „die Vorstellung der an sich seienden unendlichen Natur ... verzichten", die eben nur der „Mythos der neuzeitlichen Wissenschaft" ist (S. 53).

„Wir müssen darauf verzichten, Begriffe von Objekten zu bilden, die nicht wenigstens grundsätzlich Objekte eines Subjekts werden können" (S. 52): in welcher modernen *Erkenntnistheorie* ist diese Tür nicht schon eine offene? Im Gegensatz dazu pflegen ja die atomphysikalischen Argumentationen aus der Radioaktivität und die relativitätstheoretischen und astronomischen zur Unendlichkeitsproblematik sich mehr, um mit WEIZSÄCKER zu sprechen, *innerhalb* des naturwissenschaftlichen „Mythos" zu halten. (Zum Beispiel HECKMANN, auf den sich v. WEIZSÄCKER beruft.) Aber war dies den nicht-naturwissenschaftlichen Hörern WEIZSÄCKERS genugsam gegenwärtig?

Das Ansichsein der Außenwelt dagegen, das *ὄντως ὄν* als vom *πρὸς ἡμᾶς* unterschieden, ist eine ältere und größere Angelegenheit als eine Angelegenheit der „neuzeitlichen (Natur)-Wissenschaft". Es ist nicht nur eine Angelegenheit der philosophia perennis. Es liegt darin das Worumwillen jeder menschlichen Erkenntnisarbeit. Auch derjenigen Herrn v. WEIZSÄCKERS: er nennt es „die Sache selbst, um die es uns geht" (S. 54). Der Sinn des „selbst" ist nämlich der Akzent auf das Ansichsein der Sache.

Der Philosoph muß über dieses naturphilosophische Buch urteilen: daß es so nicht geht. Dies ist weder Natur-Wissenschaft noch Natur-Philosophie.

Hier erklärt ein Mitglied einer naturwissenschaftlichen Fakultät die Naturwissenschaft der Neuzeit zu einem Mythos. Die Philosophie hat, als philosophische Erkenntnistheorie, in den Stadien ihres Weges, vielfältige Kritik an der neuzeitlichen Naturwissenschaft geübt. Gegen jenes Verdikt aber muß

Philosophie sie verteidigen. Sie muß erkenntnistheoretisch und logisch nachsehen: ob es *bewiesen* wird. *Zusammen* mit den Großen der Naturwissenschaft von früher, und hoffentlich auch von heute, hat die Philosophie der Jahrhunderte die Naturwissenschaft eines anderen Nachdenkens für wert befunden, als es die hier in kurzen Sätzen dargebotene Entlarvung des neuzeitlichen Naturbildes als eines „Mythos" tut. Die philosophische Erkenntnistheorie ist demgegenüber so „altmodisch", die Naturwissenschaft *jedenfalls* irgendwie im Bereich der übrigen menschlichen *Erkenntnis* zu lokalisieren. In dieser Hinsicht unterscheidet sich die heutige Naturwissenschaft von derjenigen von gestern für sie nicht: das vermag erkenntnistheoretische Analyse auf der Elementarstufe zu beweisen. Wenn BUNSEN dem menschlichen Wissen gedient hat — dann kann nicht mit BOHR und HEISENBERG oder mit WEIZSÄCKER etwas in *dieser* Hinsicht *gänzlich Neues* anfangen, — nämlich die „unmythisch gewordene Wissenschaft unserer Zeit" (S. 53).

Der Erkenntnistheoretiker muß hier auf einer präzisen Frage bestehen. Es ist nicht mehr neu, daß die Naturwissenschaft von heute sich von derjenigen von gestern tatsächlich eigentümlich unterscheidet. Besteht dieser Unterschied aber *darin:* daß aus einem *Mythos* von der Natur jetzt erst unmythische *Wissenschaft* geworden ist? Wer soviel behauptet, muß viel beweisen. Jener Mythos hat immerhin unsere abendländische Weltorientierung von Kopernikus bis ins 20. Jahrhundert getragen. Dem Erkenntnistheoretiker sei dazu die pedantische Feststellung erlaubt: wenn man auch die eine oder andere zentrale Voraussetzung der vorquantenmechanischen Naturwissenschaft für eine Fiktion ansieht, — dann macht man es sich immer noch ein wenig leicht, wenn man daraufhin in dem riesenhaften Phänomen der abendländischen Naturforschung nurmehr altes Eisen — oder einen alten Mythos sieht ... Die philosophische Erkenntnistheorie wird sich bemühen müssen, die naturwissenschaftliche Erkenntnispraxis etwas — wissenschaftlicher zu analysieren.

HERMANN WEIN (Göttingen).

Eingegangen am 22. August 1949.

Pohl, R. W.: Einführung in die Optik. (Einführung in die Physik, 7. u. 8. Aufl., Bd. 3.) Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer 1948. VIII, 356 S., 565 Abb. u. 1 farb. Tafel. DMark 21.—.

Die erste Auflage dieses Buches ist in dieser Zeitschrift im Jahr 1940 von A. SOMMERFELD ausführlich besprochen und besonders in seiner Originalität gewürdigt worden. Die große Zahl von Auflagen, die seither trotz der politischen Wirren erforderlich war, zeigt, daß sich das Buch einen besonders weiten Leserkreis erworben hat.

Der wesentliche Charakter und Umfang des Buches ist erhalten geblieben. Es ist hervorzuheben, daß der Begriff „Optik" sehr weit gefaßt ist. Fast die Hälfte des Buches beschäftigt sich mit der Wechselwirkung zwischen Strahlung und Materie, also den Dispersionserscheinungen, ferner der Absorption und Emission der Strahlung, so daß man vieles in ihm findet, was sonst in einer Einführung in die Atomphysik behandelt wird.

Von einigen Ergänzungen, die die neue Auflage aufweist, ist besonders der Abschnitt über das Phasenkontrastverfahren hervorzuheben. Diese neue Methode, deren Einführung in die mikroskopische Technik besonders für die biologische Forschung von fundamentaler Bedeutung zu werden verspricht, ist nicht ganz einfach elementar zu erläutern. Der entsprechende Abschnitt wird daher in der nächsten Zeit wohl besonders häufig auch von Nichtphysikern gelesen werden und eine Art Testobjekt auf Darstellungskunst bleiben.

M. CZERNY.

Eingegangen am 12. August 1949.

Prandtl, L.: Führer durch die Strömungslehre, 3. Aufl. Braunschweig 1949.

Die neue Auflage weist eine Reihe von Ergänzungen und eine große Menge neuer Schrifttumsnachweise auf, womit die inzwischen erzielten Forschungsergebnisse einschließlich des während des Krieges geheimgehaltenen Schrifttums in die Neubearbeitung der Auflage einbezogen wurden. Im folgenden sei ein kurzer Überblick über die Ergänzungen gegeben.

In dem Abschnitt über zähe Flüssigkeiten finden jetzt auch die Übergangszustände zwischen festem und flüssigem Zustand Erwähnung. Die Ausführungen über laminare Grenzschichten sind ebenso wie andere Stellen des Buches stärker theoretisch unterbaut worden. In dem Kapitel über Turbulenz wird über die inzwischen erreichte Klärung der Turbulenzentstehung und über die daraus entwickelte Vorausberechnung der turbulenten Ablösestelle berichtet. Zum Problem der isotropen Turbulenz wird der Übergang der Energie der turbulenten Nebenbewegung aus gröberer in immer feinere Turbulenz bis zur schließlichen Verwandlung in Wärme vor Augen geführt und durch größenordnungsmäßige Abschätzung in eine grundlegende Beziehung gekleidet. Die Fortschritte der Meßtechnik finden Berücksichtigung durch Erwähnung von Meßmethoden für besonders schwache Turbulenz und für Korrelationsmessungen, ferner durch Erwähnung der Impulsverlustmessung zur Ermittlung der Oberflächenreibung mit einer kritischen Würdigung der Meßgenauigkeit in der Nähe einer Ablösestelle. Anschließend wird auf ein neues, besseres Verfahren, die Oberflächenreibung mittels Wärmeübergangsmessungen zu bestimmen, hingewiesen.

Auf dem Gebiet der kompressiblen Gasströmung werden die theoretischen Ergebnisse über räumliche Überschallströmung und nichtstationäre Strömung, ferner über die beim Kreuzen von Verdichtungsstößen beobachtete Gabelung erwähnt. Das Temperaturverhalten laminarer und turbulenter Grenzschichten betreffend wird auf Meßergebnisse hingewiesen.

Der vielseitige Abschnitt über Randgebiete der Strömungslehre weist ebenfalls eine Reihe von Ergänzungen auf. In dem Kapitel über Kavitation erfährt man von einer neuen Versuchseinrichtung für sehr kleine Kavitationszahlen, womit Widerstandsvorgänge studiert wurden und womit es gelang, an Kavitationsblasen Körper bester Form für Hochgeschwindigkeiten sowohl in Wasser als auch in Luft festzustellen. Die genauere Auswertung von Versuchen liefert in den Ausführungen über Wasser-Luft-Gemische eine zahlenmäßige Aussage über den Zerstäubungsgrad von Spritzdüsen und mit neuen Versuchen über den Geschiebetrieb von Flüssen wird in dem Kapitel „Feste Körper in strömendem Wasser" eine quantitative Aussage über das Einsetzen der Geschiebebewegung in Abhängigkeit von dem relativen Gewicht des Geschiebes gegenüber Wasser, dem Geschiebedurchmesser und dem hydraulischen Radius gegeben.

Besonders reichhaltig und erkenntnisreich sind die Ergänzungen zu dem Kapitel über Bewegungen in der Atmosphäre. Durch Klassifikation nach den vorherrschenden physikalischen Einflüssen gelang es dem Verfasser des Werkes, eine Reihe, am Wetterablauf beteiligter Einzelvorgänge zu erkennen und quantitativ zu behandeln. Die Kenntnisse über den Reibungswind werden weitergetrieben. Als Folge der durch die Bodenreibung entstehenden Sekundärströmung ergibt sich in Zusammenwirkung mit den Corioliskräften ein Abbau des Druckfeldes. Bei inhomogenen Windfeldern, d. h. wenn ein starkes Windgebiet in windschwächeren Gebieten eingelagert ist, bestehen auch vertikale Sekundärströmungen, und zwar an einem Rand des Windgebietes nach oben, was bei Vorhandensein eines Temperaturfeldes zu einem Temperatursprung am Boden (Front) führt. Ferner wird der Einfluß ungleichmäßiger Bodenrauhigkeit und der Einfluß der zeitlichen Änderung des Druckfeldes auf das Geschwindigkeitsprofil des Windes durch Hinweis auf die sich damit befassenden Arbeiten berührt. Für ein in scherender Strömung befindliches, stabil geschichtetes Medium wird die den Turbulenzeintritt charakterisierende RICHARDSONsche Zahl zahlenmäßig angegeben. Den Wärmetransport in einer stabil geschichteten Atmosphäre, die durch kräftigen Wind durchmischt wird, betreffend wird nachgewiesen, daß der Wärmestrom abwärts gerichtet ist und daß die Turbulenz die Wirkung einer Kältemaschine haben kann, indem sie Wärme von kälteren Luftschichten in wärmere befördert.

Das Kapitel über Wärmeübertragung bringt den Hinweis auf eine theoretische Arbeit, in der die Temperaturveränderlichkeit der Zähigkeit berücksichtigt wird, was für den Wärmeübergang bei Ölen von Bedeutung ist.

Schließlich werden in einem Nachtrag Messungen an Wellen von großen Seen und an dem darüber wehenden Wind besprochen.

Durch die stete Betonung des Grundsätzlichen ist das Werk ein Lehrbuch mit allen den Vorzügen, die es von jeher besaß, geblieben. Darüber hinaus führt es systematisch bis zu den neuesten Problemen und vermittelt einen umfassenden Überblick über das Schrifttum.

F. SCHULTZ-GRUNOW (Aachen).

Eingegangen am 3. August 1949.

Verantwortlich für den Textteil: Prof. Dr. Arnold Eucken, Göttingen, Bürgerstraße 50. — Springer-Verlag, Berlin · Göttingen · Heidelberg. — Druck der Universitätsdruckerei H. Stürtz AG., Würzburg.

Die Grundlehren der mathematischen Wissenschaften

in Einzeldarstellungen

mit besonderer Berücksichtigung der Anwendungsgebiete

Herausgegeben von

W. Blaschke · R. Grammel · E. Hopf · F. K. Schmidt
B. L. van der Waerden

Es liegen vor:

Band II: **Theorie und Anwendung der unendlichen Reihen.** Von Dr. Konrad Knopp, ord. Professor der Mathematik an der Universität Tübingen. Vierte Auflage. Mit 14 Textfiguren. XII, 583 Seiten. 1947. DMark 39.60

Band XXVII: **Grundzüge der theoretischen Logik.** Von D. Hilbert † und W. Ackermann, Lüdenscheid. Dritte, verbesserte Auflage. VIII, 154 Seiten. 1949. DMark 16.50; Ganzleinen DMark 19.80

Band XLIX: **Geometrie der Gewebe.** Topologische Fragen der Differentialgeometrie. Von Wilhelm Blaschke und Gerrit Bol. Mit 137 Figuren. VIII, 339 Seiten. 1938. DMark 28.50; Ganzleinen DMark 29.70

Band LII: **Formeln und Sätze für die speziellen Funktionen der mathematischen Physik.** Von Dr. Wilhelm Magnus, Professor der Mathematik an der Universität Göttingen, und Dr. Fritz Oberhettinger, Dozent für Mathematik an der Universität Mainz. Zweite Auflage. VIII, 230 Seiten. 1948. DMark 24.60

Band LV: **Anwendung der elliptischen Funktionen in Physik und Technik.** Von Dr. Fritz Oberhettinger, Dozent für Mathematik an der Universität Mainz, und Dr. Wilhelm Magnus, Professor der Mathematik an der Universität Göttingen. Mit 54 Abbildungen. VII, 126 Seiten. 1949. DMark 15.60; Ganzleinen DMark 18.30

Anfang 1950 erscheinen:

Band IV: **Die mathematischen Hilfsmittel des Physikers.** Von E. Madelung. Vierte, berichtigte Auflage. Mit etwa 30 Abbildungen. Etwa 500 Seiten. Etwa DMark 42.—; Ganzleinen etwa DMark 45.—

Band LVI: **Die Entwicklung der Infinitesimalrechnung.** Eine Einleitung in die Infinitesimalrechnung nach der genetischen Methode. Von Otto Toeplitz. Aus dem Nachlaß herausgegeben von Dr. Gottfried Köthe, Professor der Mathematik an der Universität Mainz. I. Band: Mit 148 Abbildungen. IX, 181 Seiten. DMark 19.60; Ganzleinen DMark 22.60

Band LVII: **Theoretische Mechanik.** Eine einheitliche Einführung in die gesamte Mechanik. Von Dr. phil. Georg Hamel, ord. Professor an der Technischen Universität Berlin-Charlottenburg, ord. Mitglied der Deutschen Akademie der Wissenschaften. Mit 161 Abbildungen. XVI, 796 Seiten. DMark 63.—; Ganzleinen DMark 66.—

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

UNSER WERK

fertigt seit Jahrzehnten für erhöhte Anforderungen

GLASTEILUNGEN

aller Art und für jeden Zweck nach eigenen bezw. Kundenangaben in Diamant-Teilung, Flußsäure- oder Fotoätzung und Mikrofoto. Speziell Kreis- und Längenteilungen hoher Genauigkeit

J. D. Möller · Opt. Werke GmbH. Wedel/Holst.

Physikalische Apparate
für den Unterricht

Labor-Vakuumpumpen

MECHANIK

LABOR-PRÜFGERÄTEBAU VEB
CHEMNITZ · ADORFERSTRASSE 20

Debyeflex

Röntgenapparat
für Feinstruktur-Untersuchungen

Aufnahmegeräte
der verschiedensten Art

Rich. Seifert & Co. Hamburg 13
Röntgenwerk

Praktikum der quantitativen anorganischen Analyse

Von
Hermann Lux
apl. Professor an der Techn. Hochschule München

Zweite Auflage,
zugleich Neuauflage des Praktikums der quantitativen anorganischen Analyse von **Alfred Stock** und **Arthur Stähler**

Mit 47 Abbildungen. VII, 184 Seiten. 1949. DMark 8.—

VERLAG VON J. F. BERGMANN / MÜNCHEN

ZEISS MIKROSKOPE

in bekannter Friedensausführung wieder kurzfristig lieferbar!

CARL ZEISS JENA

OPTIK **CARL ZEISS JENA** VEB

Sitzungsberichte der Heidelberger Akademie der Wissenschaften
Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse
Jahrgang 1949

1. Abh. **Automorphe Funktionen und indefinite quadratische Formen.** Von H. Maass. 42 Seiten. DMark 3.60
2. Abh. **Beiträge zur Petrographie des Odenwaldes.** III. Über Flasergranite und Böllsteiner Gneis. Von O. H. Erdmannsdörffer. 4 Abb. 12 Seiten. DMark 1.20
3. Abh. **Die eindeutige Zerlegbarkeit eines Knotens in Primknoten.** Von H. Schubert. 7 Abb. 50 Seiten. DMark 2.80
4. Abh. **Grenzen der Herzauskultation.** Von K. Holldack. 21 Abb. 43 Seiten. DMark 4.20
5. Abh. **Die Bildung ligniähnlicher Stoffe unter physiologischen Bedingungen.** Von K. Freudenberg. 10 Seiten. DMark 1.—
6. Abh. **Morphologische und anatomische Studien an höheren Pflanzen.** Von W. Troll und H. Weber. 83 Seiten. DMark 7.80
7. Abh. **Pathologische Anatomie der Glykolvergiftungen und des Alloxandiabetes.** Von W. Doerr. 18 Abb. 112 Seiten. DMark 9.80
8. Abh. **Knotengruppe und Homologieinvarianten.** Von W. Threlfall. 10 Abb. 20 Seiten. DMark 1.50

Springer-Verlag / Berlin · Göttingen · Heidelberg

Herausgeber und verantwortlicher Redakteur: Professor Dr. Arnold Eucken, Göttingen, Bürgerstraße 50. — Verantwortlich für den Anzeigenteil: Hans-Georg Halfter, Berlin W 35, Reichpietschufer 20. — Springer-Verlag, Berlin · Göttingen · Heidelberg. — Druck der Universitätsdruckerei H. Stürtz AG., Würzburg.
Printed in Germany.